

带计算功能的双通道单相功率监视IC

特性

- 在4000:1的动态范围内，以0.5%的精度对两个负载进行功率监视
- 快速16位处理内核内置计算功能：
 - 有功功率、无功功率和视在功率
 - 真RMS电流和RMS电压
 - 工频和功率因数
- 64位宽输入和输出有功电能累加寄存器（每通道）
- 64位四象限无功电能累加寄存器（每通道）
- 有符号有功和无功功率输出
- 延时短于200 μ s的专用过零检测（Zero Crossing Detection, ZCD）引脚输出
- 具有可编程频率和占空比的专用PWM输出引脚
- 通过快速电压浪涌检测实现自动事件引脚控制
 - 延时短于5 ms
- 使用通用异步收发器（Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART）的双线串行协议，可选波特率最高115.2 kbps
- 快速校准程序和简化的命令协议
- 512字节用户可访问EEPROM（通过页读/写命令实现）
- 低漂移内部参考电压，10 ppm/ $^{\circ}$ C（典型值）
- 28引脚5x5 QFN封装
- 扩展温度范围：-40 $^{\circ}$ C至+125 $^{\circ}$ C

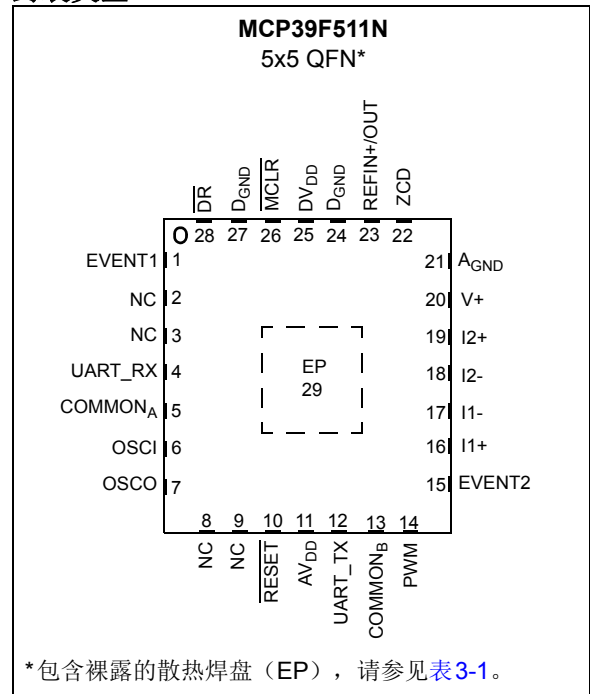
应用

- 壁式插座（双插孔）功率监视
- 家庭自动化功率监视
- 工业照明功率监视
- 交流-直流电源输入功率实时测量
- 智能配电单元

说明

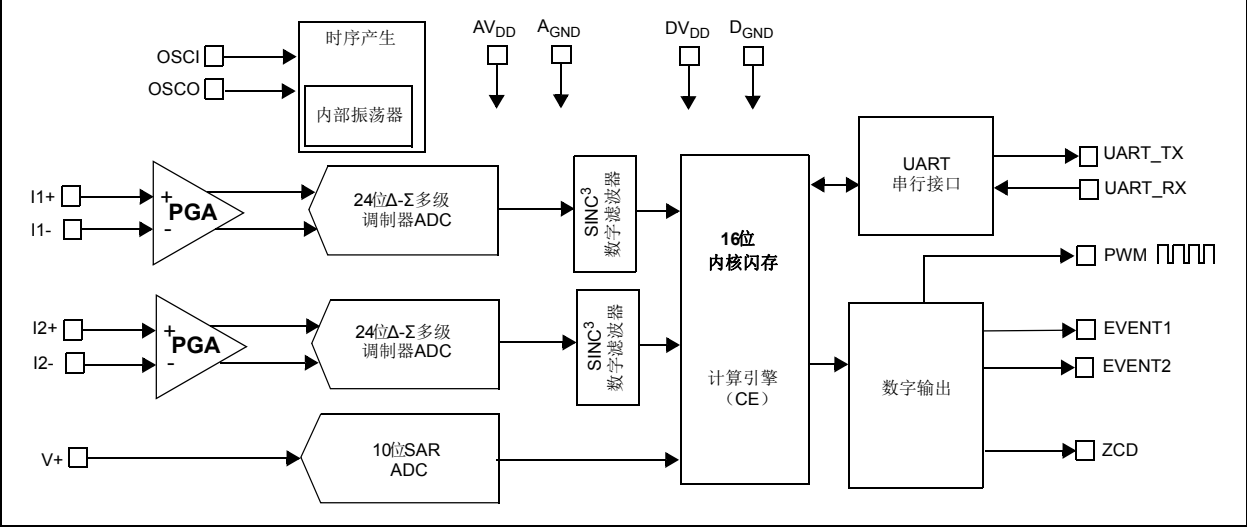
MCP39F511N是一款高度集成的完整双通道单相功率监视IC，用于实时测量双插孔壁式插座、电源板以及消费类和工业应用的输入功率。它包括用于双电流测量的双通道24位 Δ - Σ ADC、用于电压测量的10位SAR ADC、16位计算引擎、EEPROM和灵活的双线接口。凭借集成低漂移参考电压低至10 ppm/ $^{\circ}$ C的温漂，加上各测量通道上94.5 dB的SINAD性能，此器件能够在4000:1的动态范围内实现精度优于0.5%的设计。

封装类型

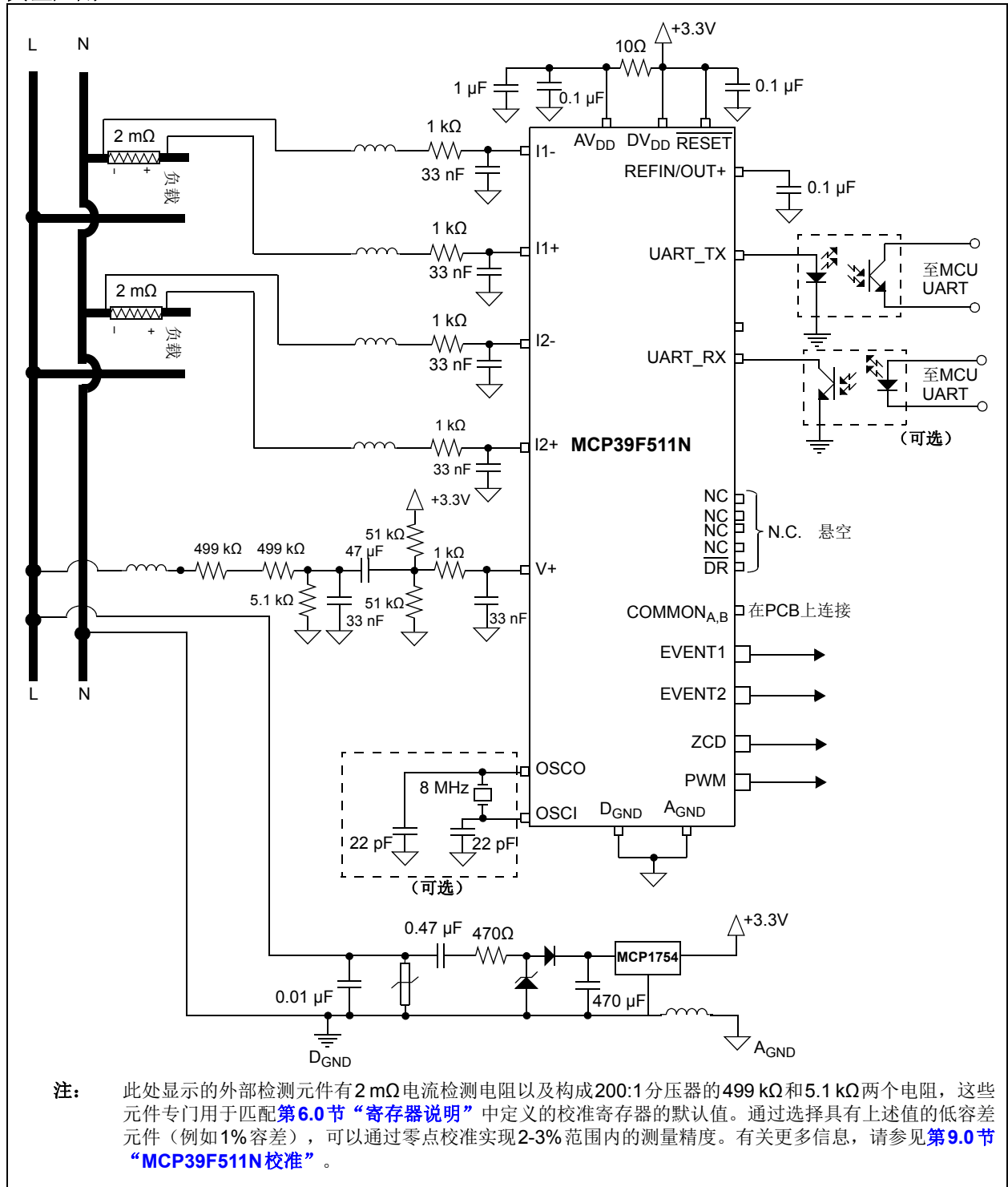


MCP39F511N

功能框图



典型应用



MCP39F511N

1.0 电气特性

绝对最大值†

DV _{DD}	-0.3至+4.5V
AV _{DD}	-0.3至+4.0V
数字输入和输出相对于A _{GND} 的电压	-0.3V至+4.0V
模拟输入 (I+、I-、V+和V-)	
相对于A _{GND} 的电压	-2V至+2V
V _{REF} 输入相对于A _{GND} 的电压	-0.6V至AV _{DD} +0.6V
D _{GND} 引脚的最大输出电流	300 mA
DV _{DD} 引脚的最大输入电流	250 mA
数字IO的最大输出灌电流	25 mA
数字IO的最大拉电流	25 mA
储存温度	-65°C至+150°C
环境温度 (施加电源时)	-40°C至+125°C
引脚焊接温度 (10秒)	+300°C
模拟输入的ESD (HBM和MM)	4.0 kV, 200V
所有其他引脚的ESD (HBM和MM)	4.0 kV, 200V

† 注: 如果器件的工作条件超过上述“最大额定值”, 可能对器件造成永久性损坏。上述值仅代表本规范规定的极限工作条件, 不代表器件在上述极限值或超出极限值的情况下仍可正常工作。器件长时间工作在最大值条件下, 其可靠性可能受到影响。

1.1 规范

表1-1: 电气特性

电气规范: 除非另外说明, 否则两个通道的所有参数的适用条件均为AV _{DD} 和DV _{DD} = 2.7至3.6V, T _A = -40°C至+125°C, MCLK = 4 MHz, PGA增益 = 1。						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
功率测量						
有功功率 (注1)	P	—	±0.5	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1 (注2)
无功功率 (注1)	Q	—	±0.5	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1 (注2)
视在功率 (注1)	S	—	±1	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1 (注2)
RMS电流 (注1)	I _{RMS}	—	±1	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1 (注2)
RMS电压 (注1)	V _{RMS}	—	±1	—	%	电压通道上的动态范围为4000:1 (注2)
功率因数 (注1)	Φ	—	±1	—	%	
工频 (注1)	LF	—	±1	—	%	

注 1: 通过读取寄存器值计算, 不进行平均值计算, 单个计算周期, 累加间隔为16个线路周期, 通道1或通道2。

2: 规范由设计和特性确保; 未经生产测试。

3: N = 累加间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为4, 即50 Hz线路的T_{CAL} = 320 ms。

4: 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。

5: 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于PGA增益设置。有关典型性能, 请参见第2.0节“典型性能曲线”。

6: 当频率为50/60 Hz时, V_{IN} = 1 V_{PP} = 353 mV_{RMS}。

7: 偏差仅适用于内部时钟和UART。

表1-1: 电气特性 (续)

电气规范: 除非另外说明, 否则两个通道的所有参数的适用条件均为 AV_{DD} 和 $DV_{DD} = 2.7$ 至 $3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4 MHz$, PGA 增益 = 1。						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
校准、计算和事件检测时间						
自动校准时间	t_{CAL}	—	$2^N \times (1/f_{LINE})$	—	ms	注3
电压浪涌/跌落检测的最短时间	t_{AC_SASU}	—	见第7.0节	—	ms	注4
24位Δ-Σ ADC性能						
模拟输入绝对电压	V_{IN}	-1	—	+1	V	
模拟输入泄漏电流	A_{IN}	—	1	—	nA	
差分输入电压范围	$(I1+ - I1-), (I2+ - I2-)$	-600/增益	—	+600/增益	mV	$V_{REF} = 1.2V$, 与 V_{REF} 成比例
失调误差	V_{OS}	-1	—	+1	mV	
失调误差漂移		—	0.5	—	$\mu V/^{\circ}C$	
增益误差	GE	-4	—	+4	%	注5
增益误差漂移		—	1	—	ppm/ $^{\circ}C$	
差分输入阻抗	Z_{IN}	232	—	—	k Ω	G = 1
		142	—	—	k Ω	G = 2
		72	—	—	k Ω	G = 4
		38	—	—	k Ω	G = 8
		36	—	—	k Ω	G = 16
		33	—	—	k Ω	G = 32
信噪比和失真比	SINAD	92	94.5	—	dB	注6
总谐波失真	THD	—	-106.5	-103	dBc	注6
信噪比	SNR	92	95	—	dB	注6
无杂散动态范围	SFDR	—	111	—	dB	注6
串扰	CTALK	—	-122	—	dB	
交流电源抑制比	AC PSRR	—	-73	—	dB	AV_{DD} 和 $DV_{DD} = 3.3V + 0.6V_{PP}$, 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz
直流电源抑制比	DC PSRR	—	-73	—	dB	AV_{DD} 和 $DV_{DD} = 3.0$ 至 $3.6V$
直流共模抑制比	DC CMRR	—	-105	—	dB	V_{CM} 从-1V变为+1V

注 1: 通过读取寄存器值计算, 不进行平均值计算, 单个计算周期, 累加间隔为16个线路周期, 通道1或通道2。

2: 规范由设计和特性确保; 未经生产测试。

3: N = 累加间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为4, 即50 Hz线路的 $T_{CAL} = 320$ ms。

4: 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。

5: 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于PGA增益设置。有关典型性能, 请参见第2.0节“典型性能曲线”。

6: 当频率为50/60 Hz时, $V_{IN} = 1 V_{PP} = 353 mV_{RMS}$ 。

7: 偏差仅适用于内部时钟和UART。

MCP39F511N

表1-1: 电气特性 (续)

电气规范: 除非另外说明, 否则两个通道的所有参数的适用条件均为 AV_{DD} 和 $DV_{DD} = 2.7$ 至 $3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4 MHz$, PGA 增益 = 1。						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
10位 SAR ADC 的电压测量性能						
分辨率	N_R	—	10	—	位	
绝对输入电压	V_{IN}	$D_{GND} - 0.3$	—	$DV_{DD} + 0.3$	V	
模拟电压源的推荐阻抗	R_{IN}	—	—	2.5	k Ω	
积分非线性误差	I_{NL}	—	± 1	± 2	LSb	
微分非线性误差	D_{NL}	—	± 1	± 1.5	LSb	
增益误差	G_{ERR}	—	± 1	± 3	LSb	
失调误差	E_{OFF}	—	± 1	± 2	LSb	
时钟和时序						
UART 波特率	UDB	1.2	—	115.2	kbps	有关协议的详细信息, 请参见第3.2节
主时钟和晶振频率	f_{MCLK}	-2%	8	+2%	MHz	
OSCO 引脚上的容性负载	COSC2	—	—	15	pF	使用外部时钟驱动器器件时
内部振荡器容差	f_{INT_OSC}	—	2	—	%	仅限 $-40^{\circ}C$ 至 $+85^{\circ}C$ (注7)
内部参考电压						
内部参考电压容差	V_{REF}	-2%	1.2	+2%	V	
温度系数	TCV_{REF}	—	10	—	ppm/ $^{\circ}C$	$T_A = -40^{\circ}C$ 至 $+85^{\circ}C$, $V_{REFEXT} = 0$
输出阻抗	$Z_{OUT}V_{REF}$	—	2	—	k Ω	
V_{REF} 电流	$AI_{DD}V_{REF}$	—	40	—	μA	
参考电压输入						
输入电容值		—	—	10	pF	
V_{REF+} 引脚上的绝对电压	V_{REF+}	$A_{GND} + 1.1V$	—	$A_{GND} + 1.3V$	V	
电源规范						
工作电压	AV_{DD} 和 DV_{DD}	2.7	—	3.6	V	
确保内部上电复位信号的 DV_{DD} 启动电压	V_{POR}	D_{GND}	—	0.7	V	

注 1: 通过读取寄存器值计算, 不进行平均值计算, 单个计算周期, 累加间隔为 16 个线路周期, 通道 1 或通道 2。

2: 规范由设计和特性确保; 未经生产测试。

3: N = 累加间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为 4, 即 50 Hz 线路的 $T_{CAL} = 320 ms$ 。

4: 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。

5: 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于 PGA 增益设置。有关典型性能, 请参见第 2.0 节“典型性能曲线”。

6: 当频率为 50/60 Hz 时, $V_{IN} = 1 V_{PP} = 353 mV_{RMS}$ 。

7: 偏差仅适用于内部时钟和 UART。

表1-1: 电气特性 (续)

电气规范: 除非另外说明, 否则两个通道的所有参数的适用条件均为 AV_{DD} 和 $DV_{DD} = 2.7$ 至 $3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4 MHz$, PGA 增益 = 1。						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
确保内部上电复位信号的 DV_{DD} 上升速率	SDV_{DD}	0.05	—	—	V/ms	0.1s内0-3.3V, 60 ms内0-2.5V
确保内部上电复位信号的 AV_{DD} 启动电压	V_{POR}	A_{GND}	—	2.1	V	
确保内部上电复位信号的 AV_{DD} 上升速率	SAV_{DD}	0.042	—	—	V/ms	50 ms内0-2.4V
工作电流	I_{DD}	—	15	—	mA	
数据EEPROM存储器						
单元耐擦写能力	EPS	100,000	—	—	E/W	
自定时写周期时间	T_{IWD}	—	4	—	ms	
刷新前的总擦/写次数	R_{REF}	—	10,000,000	—	E/W	
特性保持时间	T_{RETDD}	40	—	—	年	假设没有违反其他规范
编程时的供电电流	I_{DDPD}	—	7	—	mA	

注 1: 通过读取寄存器值计算, 不进行平均值计算, 单个计算周期, 累加间隔为16个线路周期, 通道1或通道2。

2: 规范由设计和特性确保; 未经生产测试。

3: N = 累加间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为4, 即50 Hz线路的 $T_{CAL} = 320 ms$ 。

4: 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。

5: 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于 PGA 增益设置。有关典型性能, 请参见第2.0节“典型性能曲线”。

6: 当频率为50/60 Hz时, $V_{IN} = 1 V_{PP} = 353 mV_{RMS}$ 。

7: 偏差仅适用于内部时钟和UART。

MCP39F511N

表1-2: 串行直流特性

电气规范: 除非另外说明, 否则所有参数的适用条件均为 V_{DD} 和 $DV_{DD} = 2.7$ 至 $3.6V$, $T_A = -40^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$, $MCLK = 4 MHz$						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
高电平输入电压	V_{IH}	$0.8 DV_{DD}$	—	DV_{DD}	V	
低电平输入电压	V_{IL}	0	—	$0.2 DV_{DD}$	V	
高电平输出电压	V_{OH}	3	—	—	V	$I_{OH} = -3.0 mA$, $V_{DD} = 3.6V$
低电平输出电压	V_{OL}	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 4.0 mA$, $V_{DD} = 3.6V$
输入泄漏电流	I_{LI}	—	—	1	μA	
		—	0.050	0.100	μA	仅数字输出引脚 (ZCD、PWM、EVENT1和EVENT2)

表1-3: 温度规范

电气规范: 除非另外说明, 否则所有参数的适用条件均为 V_{DD} 和 $DV_{DD} = 2.7$ 至 $3.6V$ 。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
温度范围						
工作温度范围	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
存储温度范围	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
封装热阻						
热阻, 28引脚5x5 QFN	θ_{JA}	—	36.9	—	$^{\circ}C/W$	

2.0 典型性能曲线

注： 以下图表为基于有限数量样片的统计结果，仅供参考。此处列出的特性未经测试，不做任何担保。在一些图表中，所列数据可能超出规定的工作范围（如，超出规定的电源电压范围），因而不在此担保范围内。

注： 除非另外说明，否则 $AV_{DD} = 3.3V$ ， $DV_{DD} = 3.3V$ ， $T_A = +25^{\circ}C$ ，增益 = 1， $V_{IN} = -0.5 \text{ dBFS}$ (60 Hz)，通道1或通道2。

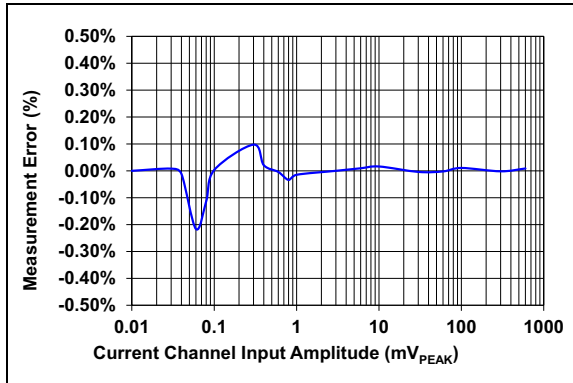


图2-1: 有功功率，增益 = 1。

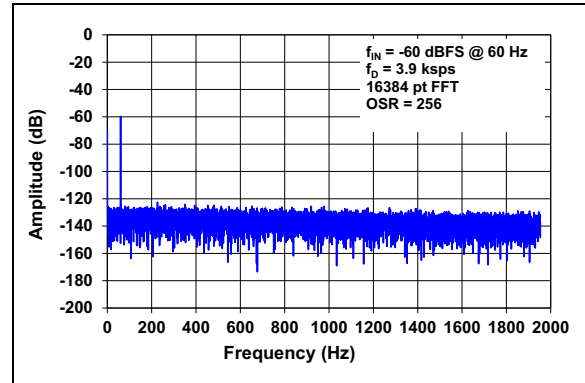


图2-4: 频谱响应曲线

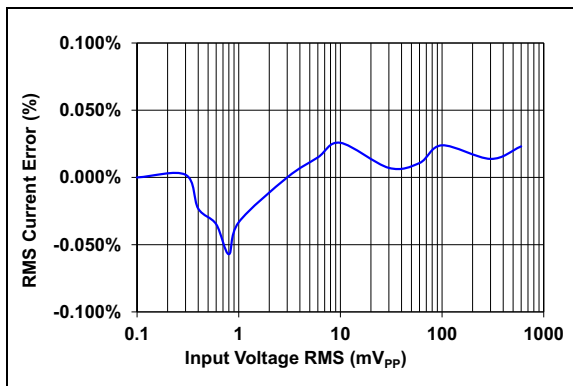


图2-2: RMS 电流，增益 = 1。

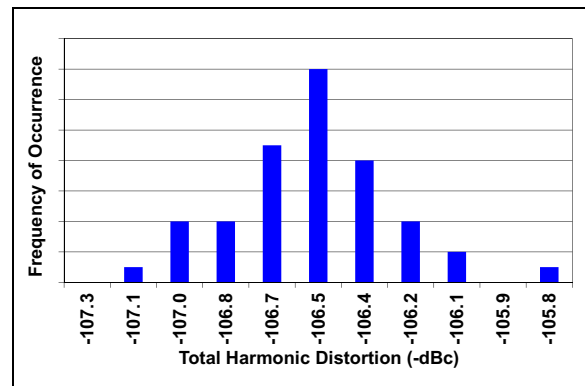


图2-5: THD 直方图

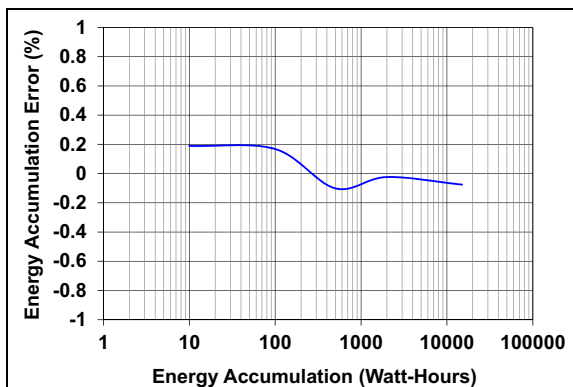


图2-3: 电能，增益 = 8。

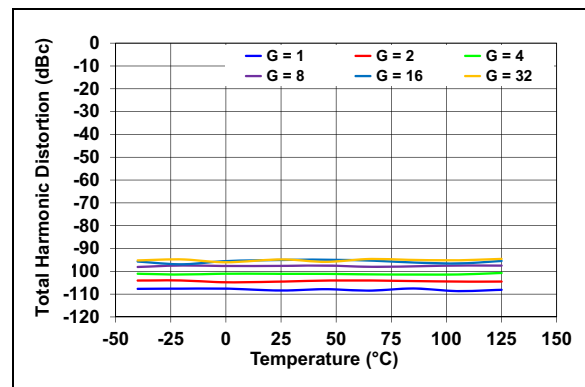


图2-6: THD—温度曲线

MCP39F511N

注：除非另外说明，否则 $AV_{DD} = 3.3V$ ， $DV_{DD} = 3.3V$ ， $T_A = +25^{\circ}C$ ，增益 = 1， $V_{IN} = -0.5\text{ dBFS}$ （60 Hz），通道1或通道2。

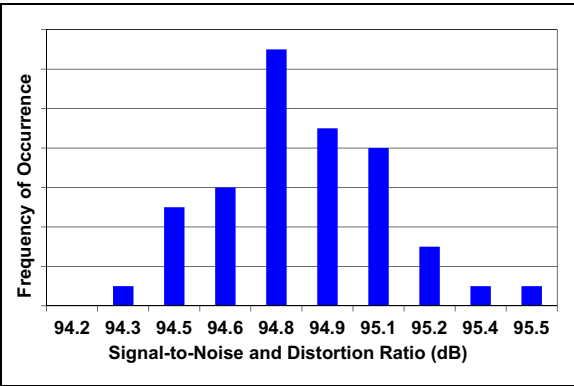


图2-7: SNR 直方图

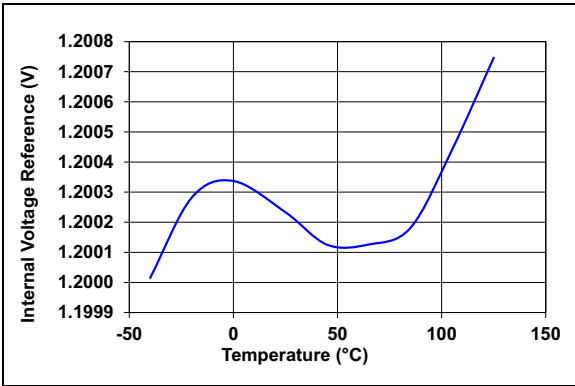


图2-10: 内部参考电压—温度曲线

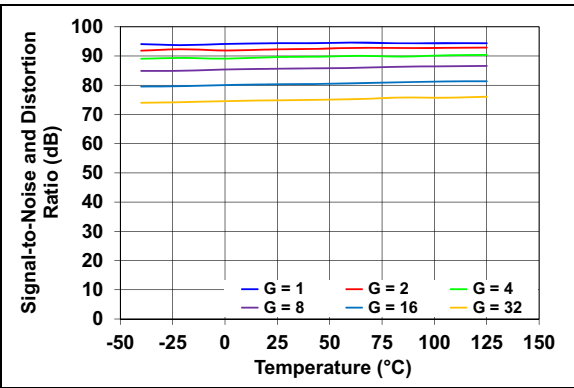


图2-8: SINAD—温度曲线

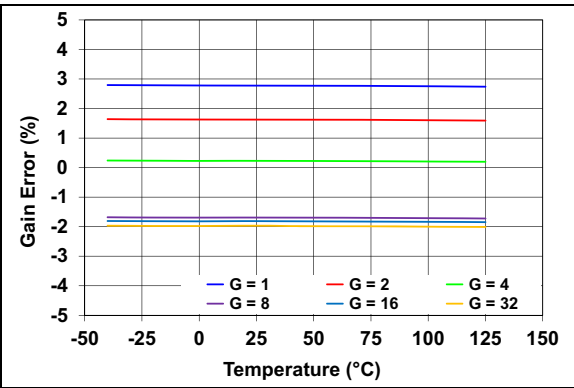


图2-9: 增益误差—温度曲线

3.0 引脚说明

表3-1中列出了引脚说明。

表3-1: 引脚功能表

MCP39F511N 5x5 QFN	符号	功能
1	EVENT1	事件1输出引脚
2、3、8和9	NC	无连接（必须悬空）
4	UART_RX	UART通信RX引脚
5	COMMON _A	共用引脚A，将连接到引脚13（COMMON _B ）
6	OSCI	晶振连接引脚或外部时钟输入引脚
7	OSCO	晶振连接引脚
10	$\overline{\text{RESET}}$	Δ - Σ ADC的复位引脚
11	AV _{DD}	模拟电源引脚
12	UART_TX	UART通信TX引脚
13	COMMON _B	共用引脚B，将连接到引脚5（COMMON _A ）
14	PWM	脉宽调制（Pulse-Width Modulation, PWM）输出引脚
15	EVENT2	事件2输出引脚
16	I1+	24位 Δ - Σ ADC的同相电流通道1输入
17	I1-	24位 Δ - Σ ADC的反相电流通道1输入
18	I2-	24位 Δ - Σ ADC的反相电压通道2输入
19	I2+	24位 Δ - Σ ADC的同相电流通道2输入
20	V+	10位SAR ADC的同相电压通道输入
21	A _{GND}	模拟地引脚，内部模拟电路的返回路径
22	ZCD	过零检测输出
23	REFIN+/OUT	同相参考电压输入和内部参考电压输出引脚
24和27	D _{GND}	数字地引脚，内部数字电路的返回路径
25	DV _{DD}	数字电源引脚
26	$\overline{\text{MCLR}}$	器件主复位
28	$\overline{\text{DR}}$	数据就绪（必须悬空）
29	EP	外露散热焊盘（将连接到引脚24和27（D _{GND} ））

3.1 事件输出引脚 (EVENTn)

这些数字输出引脚可根据各种内部上升条件配置为不同输出标志。通过事件配置寄存器修改控制。

3.2 UART通信引脚 (UART_RX和UART_TX)

MCP39F511N 器件包含一个异步全双工 UART。UART 通信采用 8 位加起始位和停止位的形式。有关更多信息，请参见第 4.3 节“UART 设置”。

3.3 共用引脚 (COMMON A 和 COMMON B)

COMMON_A 和 COMMON_B 引脚是 MCP39F511N 的内部连接。在应用中，这两个引脚应连在一起。

3.4 振荡器引脚 (OSCI/OSCO)

OSCI 和 OSC0 为器件提供主时钟。为确保正常工作，应在这些引脚上连接适当的负载电容。可将可选的 8 MHz 晶振连接到这些引脚。如果未检测到晶振或外部时钟源，则将由内部 8 MHz 振荡器为器件提供时钟。

3.5 复位引脚 (RESET)

此引脚为低电平有效，拉低时会将 Δ - Σ ADC、PGA、内部 V_{REF} 以及与模拟前端相关的其他模块置于复位状态。此输入为施密特触发输入。

3.6 主复位引脚 (MCLR)

此引脚拉低时，会将 SAR、ADC、计算引擎、UART 串行接口和数字输出置于复位状态。此输入为施密特触发输入。

3.7 模拟电源引脚 (AV_{DD})

AV_{DD} 是 MCP39F511N 内的模拟电路的电源引脚。此引脚需要合适的旁路电容，并应保持在 2.7V 到 3.6V 之间以确保器件正常工作。建议使用 0.1 μ F 陶瓷电容。

3.8 脉宽调制器 (PWM)

该数字输出是专用 PWM 输出，可通过 PWM 频率和 PWM 占空比寄存器进行控制。有关更多信息，请参见第 8.0 节“脉宽调制 (PWM)”。

3.9 24 位 Δ - Σ ADC 差分电流通道输入引脚 (I1+/I1-/I2+/I2-)

(I1-, I1+) 和 (I2-, I2+) 是 Δ - Σ ADC 的两个全差分电流通道对输入。

通道的线性区和规定区取决于 PGA 增益。此区域对应的差分电压范围为 $\pm 600 \text{ mV}_{PEAK}/\text{增益}$ ($V_{REF} = 1.2\text{V}$)。

每个 In+/- 输入引脚相对于 A_{GND} 的最大绝对电压为 $\pm 1\text{V}$ （无失真）和 $\pm 2\text{V}$ （连续施加电压不会断开）。

3.10 电压模拟输入 (V+)

这是用于电压测量输入的 SAR ADC 的同相输入。该输入用作通道 1 和通道 2 的电压测量值。DV_{DD}/2 的直流失调以及不超过 1 V_{RMS} 的交流输入信号应施加到典型应用原理图中所示的引脚上。

3.11 模拟地引脚 (A_{GND})

A_{GND} 是内部模拟电路 (ADC、PGA、电压参考和 POR) 的接地引脚。如果 PCB 上存在模拟地平面，建议将此引脚连接到该地平面。

3.12 过零检测 (ZCD)

该数字输出引脚是 IC 的过零检测电路的输出。此处的输出将是一个逻辑输出，其在电压通道输入的每个过零点都会有边沿变化。有关更多信息，请参见第 5.10 节“过零检测 (ZCD)”。

3.13 同相参考输入/内部参考输出引脚 (REFIN+/OUT)

此引脚是 Δ - Σ ADC 的差分参考电压同相输入端或内部参考电压输出。

为达到最优性能，即使使用内部参考电压时，也应始终在此引脚与 A_{GND} 之间连接旁路电容。不过，这些电容并不是保证正常工作所必需的。

3.14 数字接地引脚 (D_{GND})

D_{GND} 是内部数字电路 (SINC 滤波器、振荡器和串行接口) 的接地引脚。如果提供数字接地层, 建议将此引脚连接到 PCB 的数字地平面。此地平面也应是系统中所有其他数字电路元件的参考地。

3.15 数字电源引脚 (DV_{DD})

DV_{DD} 是 MCP39F511N 内的数字电路的电源引脚。此引脚需要合适的旁路电容, 并应保持在 2.7V 到 3.6V 之间以确保器件正常工作。建议使用 0.1 μ F 陶瓷电容。

3.16 数据就绪引脚 ($\overline{DR}$)

数据就绪引脚指示新的 Δ - Σ A/D 转换结果是否已做好处理准备。此引脚仅用于指示, 应悬空。每次转换完成后, 数据就绪引脚上将出现低电平脉冲以指示转换结果就绪, 同时计算引擎 (Calculation Engine, CE) 中产生中断。该脉冲与工频同步以确保每个线路周期进行整数次采样。

注: 此引脚内部连接到计算引擎的 IRQ, 应悬空。

3.17 外露散热焊盘 (EP)

此引脚为外露散热焊盘, 必须连接到 D_{GND} 。

MCP39F511N

注:

4.0 通信协议

器件的所有通信都以帧的形式进行。每个帧包含一个头字节、帧中的字节数、一个或多个命令包以及校验和。请注意，接收或发送帧中的最大字节数是35。

注： 如果需要自定义通信协议，请联系 Microchip 销售办事处。

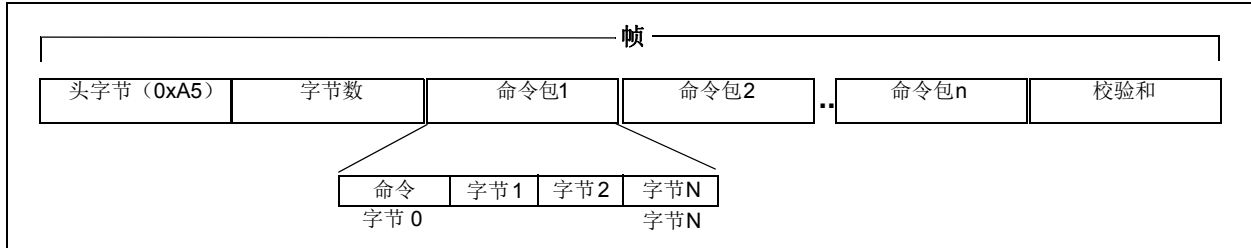


图4-1: MCP39F511N 通信帧

此方法可通过单个或多个命令实现从主机处理器到MCP39F511N的单帧安全传输。直到整个帧传输完成且验证完校验和与字节数后，才会处理帧中的命令。

单个命令包中的字节数取决于具体命令。例如，要设置指令指针，数据包中需要有三个字节：一个命令字节和两个地址字节（以供您将指针指向相应地址）。命令包的第一个字节始终是命令字节。

4.1 器件响应

接收到通信帧后，MCP39F511N有三种可能的响应，是否返回数据取决于接收的帧。这些响应可能是：

- 应答 (ACK, 0x06)：成功接收帧；理解命令并成功执行命令。
- 否定应答 (NAK, 0x15)：成功接收帧；但未成功执行命令，不理解命令或命令字节中存在一些其他错误。
- 校验和失败 (CSFAIL, 0x51)：成功接收帧；但帧的校验和与帧中的字节不匹配。

注： 有一个惟一器件ID响应，用于确定哪个MCP39FXXX器件存在：[NAK(0x15) + ID_BYTE]。
如果器件使用0x5A进行询问，即它接收0x5A作为第一个字节而不是标准0xA5首个头字节，则将返回一个特殊的NAK，然后返回ID_BYTE。对于MCP39F511N，ID_BYTE为0x03。

4.2 校验和

校验和的生成方法为：简单的字节相加，然后求模（将整个帧的和除以256，得到余数）。此运算完成后会获得8位校验和。帧的所有字节（包括头字节和字节数）均包含在校验和中。如果一个帧包含多个命令包，则在帧校验和失败时，将不会发出任何命令。在此示例中，MCP39F511N将通过CSFAIL响应0x51进行响应。

对于请求从MCP39F511N返回数据的命令，帧与校验和的创建方式相同，其中头字节变为应答 (0x06)。第4.5节“通信帧和MCP39F511N响应示例”给出了通信示例。

4.3 UART设置

默认的波特率是115.2 kbps，可以通过系统配置寄存器中的UART位进行更改。请注意，波特率仅在系统上电时更改，因此在更改波特率时，Save To Flash命令后需接上一个上电周期。

UART工作在8位模式下，加上一个起始位和一个停止位，每字节共10位，如图4-2所示。

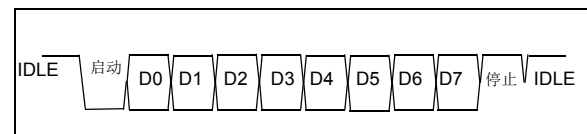


图4-2: UART传输，N-8-1

MCP39F511N

4.4 命令列表

下表列出了MCP39F511N接受的所有命令字节。对于MCP39F511N而言，可能接收到以下10条命令。

表4-1: MCP39F511N指令集

命令编号	命令	命令ID	指令参数	字节数	成功响应 UART_TX
1	Register Read, N bytes	0x4E	字节数	2	ACK、数据和校验和
2	Register Write, N bytes	0x4D	字节数	1+N	ACK
3	Set Address Pointer	0x41	地址	3	ACK
4	Save Registers To Flash	0x53	无	1	ACK
5	Page Read EEPROM	0x42	页	2	ACK、数据和校验和
6	Page Write EEPROM	0x50	页	18	ACK
7	Bulk Erase EEPROM	0x4F	无	1	ACK
8	Auto-Calibrate Gain	0x5A	通道选择 ⁽¹⁾	注2	
9	Auto-Calibrate Reactive Gain	0x7A	通道选择 ⁽¹⁾	注2	
10	Auto-Calibrate Frequency	0x76	无	注2	

注 1: 指令参数字节中的每一位指的是正在用命令校准的相应通道。例如，如果bit 0和bit 1为高电平，则通道1和通道2都将进行校准。将返回NAK或ACK。如果返回NAK，请参见事件配置寄存器中的校准状态位以了解更多信息。

2: 有关校准的更多信息，请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

4.5 通信帧和MCP39F511N响应示例

表4-2至表4-11给出了确切的十六进制通信帧，建议将其从系统MCU发送到MCP39F511N。此处的值可作为编写与MCP39F511N进行通信的代码的直接示例。

表4-2: REGISTER READ, N BYTES命令（注1）

字节编号	值	说明	MCP39F511N的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x08	帧中的字节数	
3	0x41	命令（Set Address Pointer）	
4	0x00	地址高字节	
5	0x02	地址低字节	
6	0x4E	命令（Register Read, N Bytes）	
7	0x20	要读取的字节数（32）	
8	0x5E	校验和	ACK + 字节数（35）+ 32字节 + 校验和

注 1: 该示例Register Read, N bytes帧（此处所示）可用于轮询输出数据的一个子集，从顶部的地址0x02开始读回32个数据字节（帧中共35个字节）。

表4-3: REGISTER WRITE, N BYTES命令 (注1)

字节编号	值	说明	MCP39F511N的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x17	帧中的字节数 (23)	
3	0x41	命令 (Set Address Pointer)	
4	0x00	地址高字节	
5	0xB1	地址低字节	
6	0x4D	命令 (Register Write, N Bytes)	
7	0x0F	要写入的字节数 (15)	
8-22	*数据*	数据字节 (共15个数据字节)	
23	校验和	校验和	ACK

注 1: 该Register Write, N Bytes帧 (此处所示) 将写入通道1范围和校准目标值, 从地址0xB1 (通道1范围寄存器中的第二个字节) 开始向连续地址写入15个字节的数据, 以便在校准前完成通道1寄存器的设置。请注意这些不是校准寄存器, 而是需要在发出自动校准目标命令之前写入的校准目标。有关更多信息, 请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

表4-4: SET ADDRESS POINTER命令 (注1)

字节编号	值	说明	MCP39F511N的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x06	帧中的字节数	
3	0x41	命令 (Set Address Pointer)	
4	0x00	地址高字节	
5	0x02	地址低字节	
6	0xEE	校验和	ACK

注 1: Set Address Pointer命令通常位于包含读或写命令的帧中, 如表4-2和表4-3所示。此命令通常没有自己的帧, 此处仅作为示例说明。

表4-5: SAVE TO FLASH命令

字节编号	值	说明	MCP39F511N的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x53	命令 (Save To Flash)	
4	0xFC	校验和	ACK

表4-6: PAGE READ EEPROM命令

字节编号	值	说明	MCP39F511N的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x05	帧中的字节数	
3	0x42	命令 (Page Read EEPROM)	
4	0x01	页编号 (例如1)	
5	0xED	校验和	ACK + EEPROM页数据 + 校验和

MCP39F511N

表4-7: PAGE WRITE EEPROM命令

字节编号	值	说明	MCP39F511N 的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x15	帧中的字节数	
3	0x50	命令 (Page Write EEPROM)	
4	0x01	页编号 (例如1)	
5-20	*数据*	EEPROM数据 (16字节/页)	
21	校验和	校验和	ACK

表4-8: BULK ERASE EEPROM命令

字节编号	值	说明	MCP39F511N 的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x4F	命令 (Bulk Erase EEPROM)	
4	0xF8	校验和	ACK

表4-9: AUTO-CALIBRATE GAIN命令

字节编号	值	说明	MCP39F511N 的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x05	帧中的字节数	
3	0x5A	命令 (Auto-Calibrate Gain)	
4	0x03	指令参数 (通道指令, 校准通道1和2)	
5	0x07	校验和	ACK (或无法校准时为NAK) ⁽¹⁾

注 1: 有关更多信息, 请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

表4-10: AUTO-CALIBRATE REACTIVE GAIN命令

字节编号	值	说明	MCP39F511N 的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x05	帧中的字节数	
3	0x7A	命令 (Auto-Calibrate Reactive Gain)	
4	0x01	指令参数 (通道指令, 仅校准通道1)	
5	0x25	校验和	ACK (或无法校准时为NAK) ⁽¹⁾

注 1: 有关更多信息, 请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

表4-11: AUTO-CALIBRATE FREQUENCY命令

字节编号	值	说明	响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x76	命令 (Auto-Calibrate Frequency)	
4	0x1F	校验和	ACK (或无法校准时为NAK) ⁽¹⁾

注 1: 有关更多信息, 请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

4.6 命令说明

4.6.1 REGISTER READ, N BYTES (0x4E)

无论当前地址指针的设置如何, Register Read, N Bytes命令均返回其后的N个字节。它通常应接在一个Set Address Pointer命令之后, 并且可以与其他读命令一起使用。对此命令的响应为应答、数据和校验和。使用此命令可以读取的最大字节数是32。如果一个帧内存在其他读命令, 则能够读取的最大字节数等于32减去帧中正在读取的字节数。使用此命令时, 最先返回数据的LSB。

4.6.2 REGISTER WRITE, N BYTES (0x4D)

无论当前地址指针的设置如何, Register Write, N Bytes命令均后跟待写入的N个字节。它通常应接在一个Set Address Pointer命令之后, 并且可以与其他写命令一起使用。对此命令的响应为应答。使用此命令可以写入的最大字节数是32。如果一个帧内存在其他写命令, 则能够写入的最大字节数等于32减去帧中正在写入的字节数。使用此命令时, 最先写入数据的LSB。

4.6.3 SET ADDRESS POINTER (0x41)

此命令用于为所有读写命令设置地址指针。此命令将地址指针作为后续两个字节中的命令参数。地址高字节后跟地址低字节。地址指针的长度为两个字节。如果地址指针在可接受的器件地址范围内, 则返回一个应答信号。

4.6.4 SAVE REGISTERS TO FLASH (0x53)

Save Registers To Flash命令用于将所有校准和配置寄存器的内容复制到闪存中。其中包括寄存器集中的所有读/写寄存器。对此命令的响应为应答。

4.6.5 PAGE READ EEPROM (0x42)

Read Page EEPROM命令用于返回MCP39F511N上的单个页中存储的16字节数据。有关EEPROM的存储器构成的更多完整说明, 请参见第10.0节“EEPROM”。此命令将EEPROM页作为命令参数, 即后续字节。对此命令的响应为应答、16字节数据和CRC校验和。

4.6.6 PAGE WRITE EEPROM (0x50)

Page Write EEPROM命令要求命令参数中有17个附加字节, 即EEPROM页加16字节数据。有关EEPROM的存储器构成的更多完整说明, 请参见第10.0节“EEPROM”。对此命令的响应为应答。

4.6.7 BULK ERASE EEPROM (0x4F)

Bulk Erase EEPROM命令将擦除整个EEPROM阵列并将阵列中的每个EEPROM存储单元恢复到0xFFFF状态。有关EEPROM的存储器构成的更多完整说明, 请参见第10.0节“EEPROM”。对此命令的响应为应答。

4.6.8 AUTO-CALIBRATE GAIN (0x5A)

Auto-Calibrate Gain命令用于启动单点校准, 这通常是系统所需的全部操作。此命令根据写入相应寄存器中的目标值来校准RMS电流、RMS电压和有功功率。该命令的指令参数用于选择将要校准通道1、通道2还是同时校准这两个通道。bit 0对应通道1, bit 1对应通道2。有关器件校准的更多信息, 请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。对此命令的响应为应答。

4.6.9 AUTO-CALIBRATE REACTIVE POWER GAIN (0x7A)

Auto-Calibrate Reactive Gain命令启动单点校准，以使测得的无功功率与目标无功功率相匹配。该命令的指令参数用于选择将要校准通道1、通道2还是同时校准这两个通道。bit 0对应通道1，bit 1对应通道2。这通常在PF = 0.5时完成。有关器件校准的更多信息，请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

4.6.10 AUTO-CALIBRATE FREQUENCY (0x76)

如果应用未使用外部晶振并且MCP39F511N依靠内部振荡器运行，则需要对工频指示值进行增益校准。工频增益寄存器按照频率指示值与工频参考寄存器中设置的值相匹配的原则进行设置。有关器件校准的更多信息，请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

4.7 寄存器类型的符号

采用以下符号来说明MCP39F511N中使用的各个寄存器：

表4-12: 寄存器类型的速记符号

符号	说明
u64	64位无符号寄存器
u32	32位无符号寄存器
s32	32位有符号寄存器
u16	16位无符号寄存器
s16	16位有符号寄存器
b32	包含离散布尔位设置的32位寄存器

5.0 计算引擎（CE）说明

5.1 计算周期概述

MCP39F511N 使用相干采样算法将采样率锁相到电压通道输入上的工频（每个线路周期采样整数次），并报告 2^N 个线路周期的全部功率输出量。此过程定义为计算周期，它取决于工频，因此工频的任何变化都会改变功率输出的更新速率。

有两个独立的计算路径，使用来自两个单独通道（通道1和通道2，下面称为 I_N 和 V ）的两个电流。因此，每个电流、功率和电能输出是重复的，每个计算通道一个。

另外，每个计算通道都有重复的校准寄存器（失调、增益和相位等）。

5.1.1 工频

相干采样算法也用于计算每个计算周期更新的工频输出寄存器。工频测量的校正因子是工频增益寄存器，在工频校准期间使用（见第9.6.1节“使用 Auto-Calibrate

Frequency 命令”）。请注意，工频输出寄存器的分辨率是固定的，即 1 MHz。

5.2 累加间隔参数

累加间隔定义为 2^N 个线路周期，其中 N 为累加间隔参数寄存器中的值。这对于两个计算通道相同。

5.3 原始电压和电流信号调理

图5-1显示了MCP39F511N内部进行的第一次信号调理。此图中设置的所有条件会影响所有输出寄存器（RMS 电流、RMS 电压、有功功率、无功功率和视在功率等）。PGA的增益以及24位ADC的关断和复位状态均通过系统配置寄存器控制。

要补偿电流通道和电压通道间的任何外部相位误差，可使用相位补偿寄存器。

有关器件校准的更多信息，请参见第9.0节“MCP39F511N校准”。

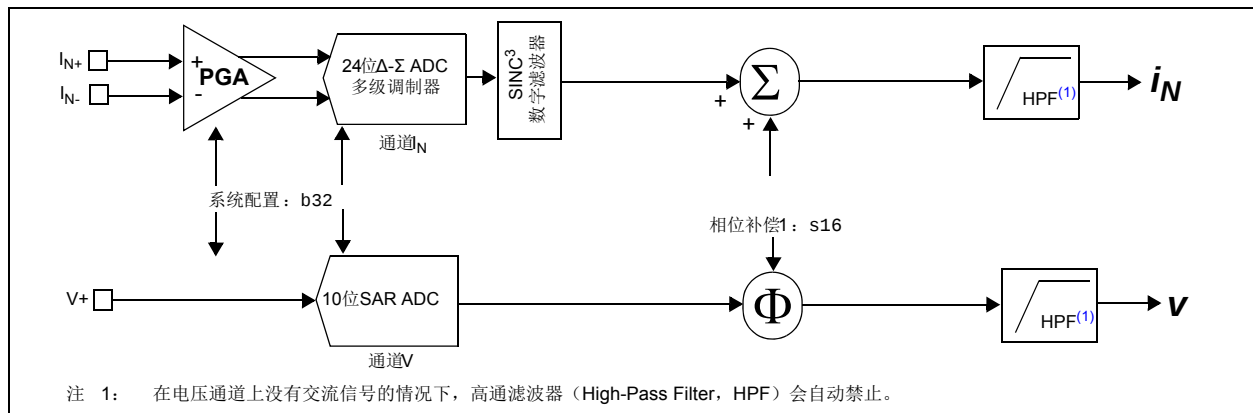


图5-1：通道1或2（ I_N 和 V ）输入信号流

MCP39F511N

5.4 RMS 电流、RMS 电压和视在功率 (S)

MCP39F511N 器件提供真 RMS 值测量。MCP39F511N 器件有两个用于电流测量的同步采样 24 位 A/D 转换器。均方根的计算针对 2^N 个电流和电压采样执行，其中 N 由累加间隔参数寄存器定义。

公式 5-1: RMS 电流和电压

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{2^N-1} (i_n)^2}{2^N}} \quad V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{2^N-1} (v_n)^2}{2^N}}$$

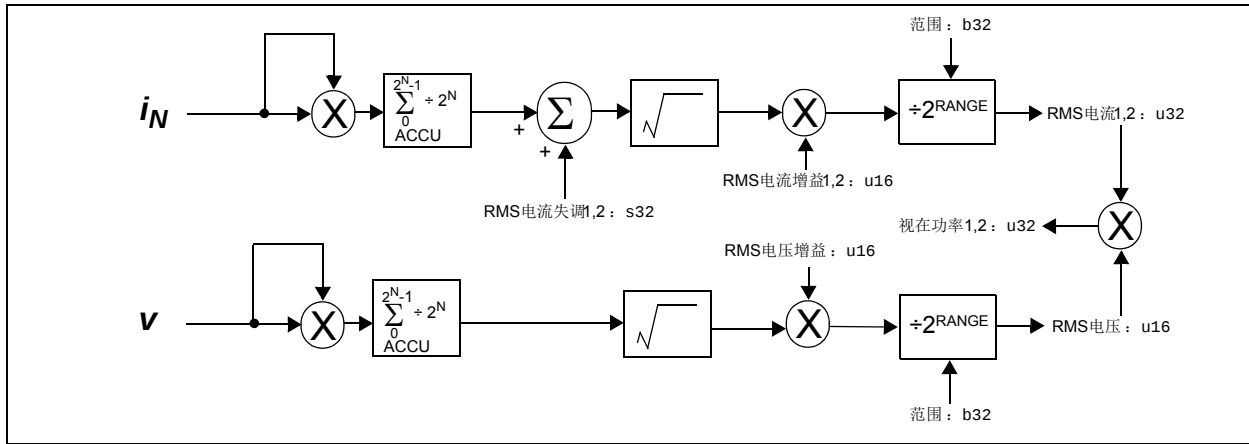


图5-2: RMS 电流（通道1或2）、视在功率（通道1和2）和电压计算信号流

5.4.1 视在功率 (S)

此 32 位寄存器是用于指示最终视在功率的输出寄存器。视在功率是 RMS 电流与 RMS 电压的乘积，如公式 5-2 所示。

公式 5-2: 视在功率 (S)

$$S = I_{RMS} \times V_{RMS}$$

由于视在功率因子位数寄存器可能大于 4，因此可能产生 32 位因子。为提高计算引擎这一部分的速度，采用了一种只使用乘法和向右位移的方法。因此，以下公式适用：

公式 5-3: 视在功率 (S)

$$\text{视在功率} = \frac{I_{RMS} \times V_{RMS}}{10^{\text{视在功率因子位数}}}$$

5.4.2 视在功率因子位数

视在功率因子位数 1 和视在功率因子位数 2 寄存器可由用户根据 RMS 指示的精度和视在功率 1 或视在功率 2 的期望精度进行配置。

5.5 功率和电能

MCP39F511N提供有功和无功功率、输入和输出寄存器的有符号功率值，以进行有功电能和四象限无功功率测量。对于该器件，输入功率或电能视为正（负载消耗功率或电能），输出功率或电能视为负（负载提供功率或电能）。下图表示的是MCP39F511N获得的测量值。

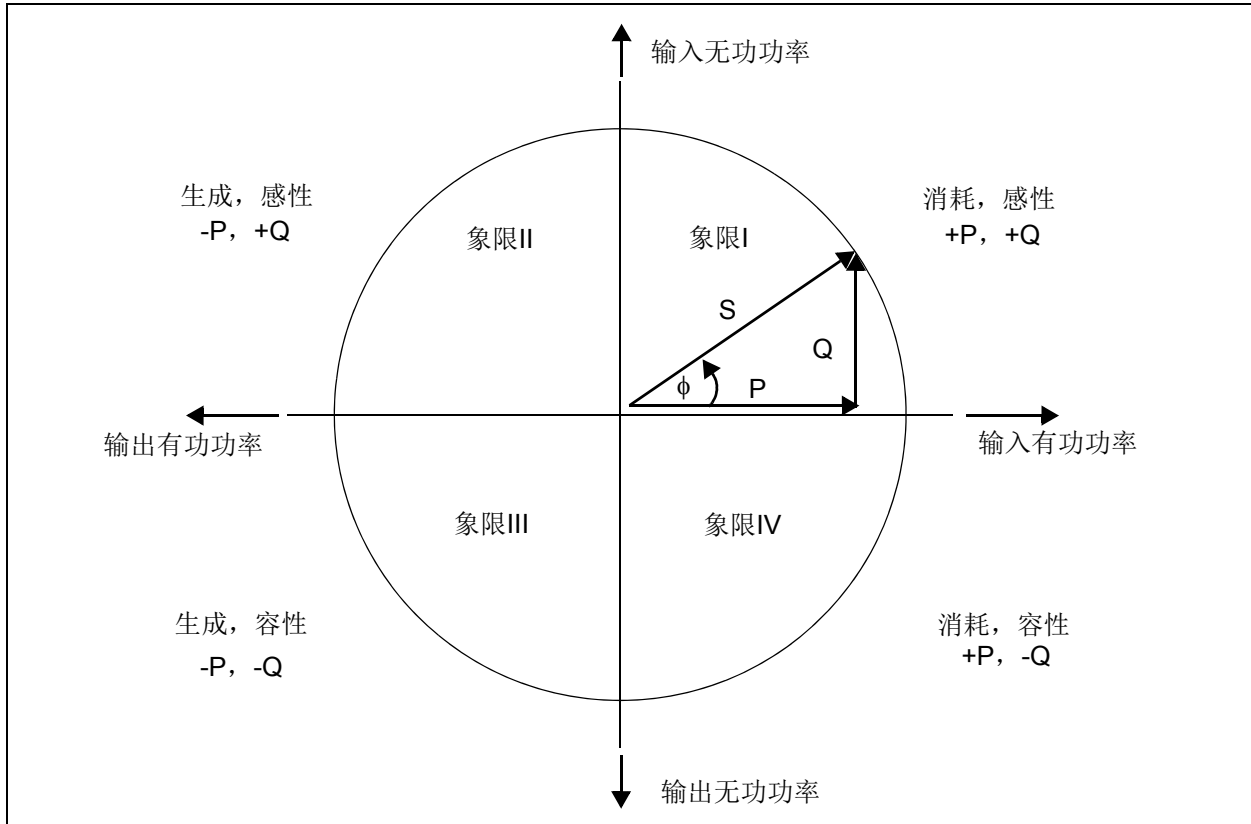


图5-3: 功率圆和三角形 (S = 视在功率, P = 有功功率, Q = 无功功率)

5.6 电能累加

如果电能累加已开启，则全部四个电能寄存器（输入/输出和有功/无功）的电能累加发生在每个计算周期结束时。有关电能控制位的信息，请参见第6.5节“系统配置寄存器”。电能累加发生在八个64位电能计数器之一中，每个通道四个（有功功率和无功功率的输入和输出计数器）。

5.6.1 无负载阈值

无负载阈值通过修改无负载阈值寄存器中的值来设置。该寄存器的单位是功率，默认分辨率为0.01W。默认值是100或1.00W。任何低于1W的功率都不会累加到任何电能寄存器中。

为换算视在功率指示值，计算引擎使用视在功率因子寄存器。下面的寄存器运算中说明了这一点，如公式5-4所示。

公式5-4: 视在功率 (S)

$$S = \frac{\text{电流RMS} \times \text{电压RMS}}{10^{\text{视在功率因子}}}$$

5.7 有功功率 (P)

MCP39F511N有三个同步采样A/D转换器，用于监视两个单独的电流和两个单独的有功功率。对于有功功率计算，瞬时电流和瞬时电压相乘得到瞬时功率。随后通过求平均值或计算直流分量的方式将瞬时功率转换为有功功率。

公式5-5用于控制更新有功功率输出寄存器前此累加中使用的采样数。

请注意，虽然此寄存器是无符号的，但是有功功率的方向（输入或输出）可以由系统状态寄存器中的有功功率符号位决定。

公式5-5: 有功功率

$$P = \frac{1}{2^N} \sum_{k=0}^{2^N-1} V_k \times I_k$$

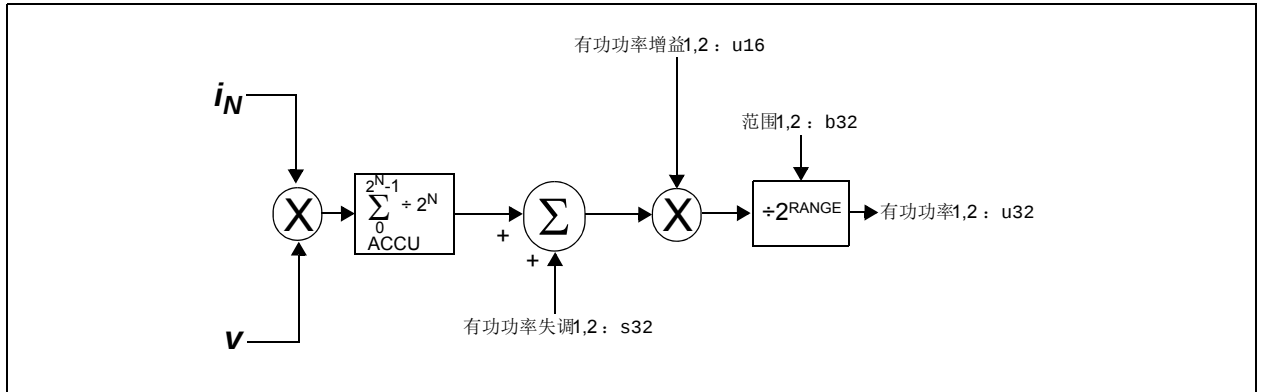


图5-4: 通道1或通道2有功功率计算信号流

5.8 功率因数 (PF)

功率因数通过P与S的比率来计算，即有功功率除以视在功率。

公式 5-6: 功率因数

$$PF = \frac{P}{S}$$

功率因数读数存储在两个16位有符号（功率因数）寄存器中，每个通道一个。此寄存器为有符号二进制补码寄存器，其中MSb表示功率因数的极性。正功率因数表示输入功率，负功率因数表示输出功率。无功功率分量的符号可用于确定负载是感性（正）还是容性（负）的。

每个LSb的权重等效于 2^{-15} 。最大寄存器值0x7FFF对应于功率因数1。最小寄存器值0x8000对应于功率因数-1。

5.9 无功功率 (Q)

在MCP39F511N中，利用电压通道中的90度相移计算无功功率。同样的累加原理还适用于有功功率，其中ACCU用作累加器。任何轻载或剩余功率均可通过无功功率失调寄存器来消除。增益通过无功功率增益寄存器修正。最终输出为32位无符号值，该值位于无功功率寄存器中。

请注意，虽然该寄存器是无符号的，但是功率的方向可以通过系统状态寄存器中的无功功率符号位来确定。

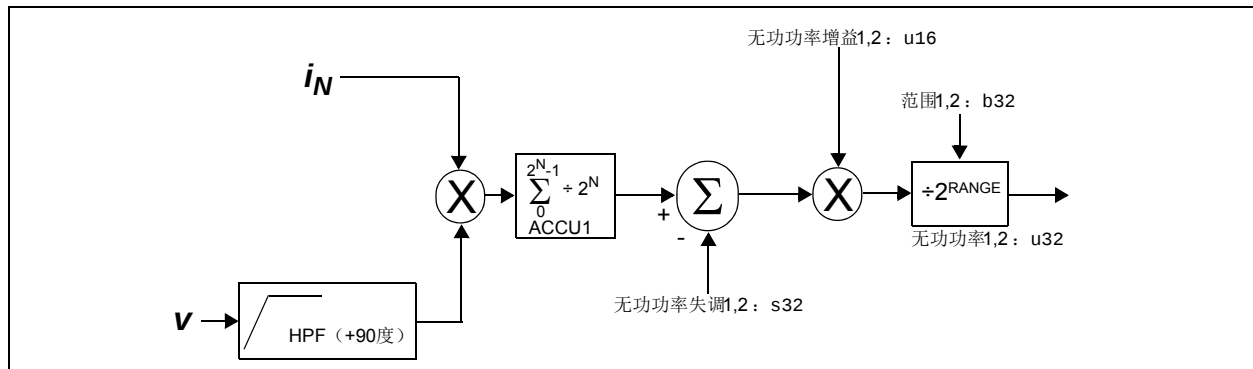


图5-5: 通道1或通道2无功功率计算信号流

5.10 过零检测 (ZCD)

过零检测模块在ZCD引脚上产生逻辑脉冲输出，该输出与电压输入引脚 (V+) 上的输入交流信号的过零点一致。ZCD 引脚可以通过[系统配置寄存器](#)中的相应位来使能和禁止。使能时，会产生频率与电压输入引脚上的交流信号相同的方波。图5-6表示ZCD引脚上的信号与此模式下电压输入引脚上的交流信号叠加。

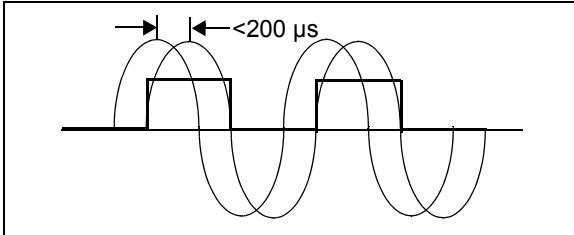


图5-6： 过零检测操作（同相，非脉冲）

第二种模式可用于在过零点处产生100 μs脉冲。此时的频率是电压通道输入上的交流信号的两倍，如图5-7所示。

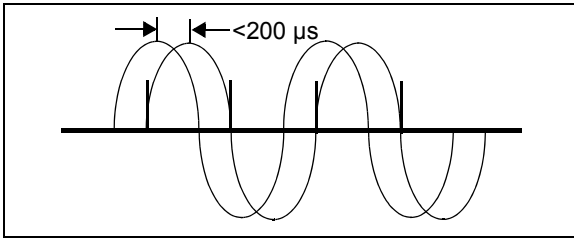


图5-7： 过零检测操作（同相，脉冲型）

切换模式通过设置[系统配置寄存器](#)中的相应位来实现。

此外，无论是该引脚的翻转还是脉冲均可以进行反相。ZCD反相位也位于系统配置寄存器中。

系统配置寄存器中有两个位可用于修改过零点。过零输出可以通过将反相位置1来反相，也可以在每个过零点处产生100 μs脉冲（通过将脉冲位置1）。

请注意，在信号路径中包含了一个低通滤波器，以允许过零检测电路滤除高频信号，保留基频信号。随后将使用内部补偿电路来校正由低通滤波器引入的相位延时，最终延时短于±200 μs。

6.0 寄存器说明

6.1 完整寄存器映射

下表介绍了MCP39F511N器件的各个寄存器。

表6-1: MCP39F511N寄存器映射

地址	寄存器名称	章节编号	读/写	数据类型	说明
输出寄存器					
0x0000	指令指针	6.2	R	u16	读写命令的地址指针
0x0002	系统状态	6.3	R	b16	系统状态寄存器
0x0004	系统版本	6.4	R	u16	MCP39F511N的系统版本日期代码信息，在Microchip工厂设置；格式为YMDD
0x0006	RMS 电压	5.4	R	u16	RMS 电压输出
0x0008	工频	5.1.1	R	u16	工频输出
0x000A	功率因数1	5.8	R	s16	通道1的功率因数输出
0x000C	功率因数2	5.8	R	s16	通道2的功率因数输出
0x000E	RMS 电流1	5.4	R	u32	通道1的RMS 电流输出
0x0012	RMS 电流2	5.4	R	u32	通道2的RMS 电流输出
0x0016	有功功率1	5.7	R	u32	通道1的有功功率输出
0x001A	有功功率2	5.7	R	u32	通道2的有功功率输出
0x001E	无功功率1	5.9	R	u32	通道1的无功功率输出
0x0022	无功功率2	5.9	R	u32	通道2的无功功率输出
0x0026	视在功率1	5.4	R	u32	通道1的视在功率输出
0x002A	视在功率2	5.4	R	u32	通道2的视在功率输出
0x002E	输入有功电能计数器1	5.6	R	u64	通道1输入有功电能的累加器
0x0036	输入有功电能计数器2	5.6	R	u64	通道2输入有功电能的累加器
0x003E	输出有功电能计数器1	5.6	R	u64	通道1输出有功电能的累加器
0x0046	输出有功电能计数器2	5.6	R	u64	通道2输出有功电能的累加器
0x004E	输入无功电能计数器1	5.6	R	u64	通道1输入无功电能的累加器
0x0056	输入无功电能计数器2	5.6	R	u64	通道2输入无功电能的累加器
0x005E	输出无功电能计数器1	5.6	R	u64	通道1输出无功电能的累加器
0x0066	输出无功电能计数器2	5.6	R	u64	通道2输出无功电能的累加器
校准寄存器					
0x006E	校准分隔符寄存器	9.7	R/W	u16	可用于在启动时启动加载默认工厂校准系数
0x0070	RMS 电流增益1	5.4	R/W	u16	通道1 RMS 电流的增益校准因数
0x0072	RMS 电流增益2	5.4	R/W	u16	通道2 RMS 电流的增益校准因数
0x0074	RMS 电压增益	5.4	R/W	u16	RMS 电压的增益校准因数

MCP39F511N

表 6-1: MCP39F511N 寄存器映射 (续)

地址	寄存器名称	章节编号	读/写	数据类型	说明
0x0076	有功功率增益 1	5.7	R/W	u16	通道 1 有功功率的增益校准因数
0x0078	有功功率增益 2	5.7	R/W	u16	通道 2 有功功率的增益校准因数
0x007A	无功功率增益 1	5.9	R/W	u16	通道 1 无功功率的增益校准因数
0x007C	无功功率增益 2	5.9	R/W	u16	通道 2 无功功率的增益校准因数
0x007E	工频增益	5.1.1	R/W	u16	工频的增益校准因数
0x0080	RMS 电流失调 1	5.4	R/W	s32	通道 1 RMS 电流的失调校准因数
0x0084	RMS 电流失调 2	5.4	R/W	s32	通道 2 RMS 电流的失调校准因数
0x0088	有功功率失调 1	5.7	R/W	s32	通道 1 有功功率的失调校准因数
0x008C	有功功率失调 2	5.7	R/W	s32	通道 2 有功功率的失调校准因数
0x0090	无功功率失调 1	5.9	R/W	s32	通道 1 无功功率的失调校准因数
0x0094	无功功率失调 2	5.9	R/W	s32	通道 2 无功功率的失调校准因数
0x0098	相位补偿 1	5.3	R/W	s16	通道 1 相位补偿
0x009A	相位补偿 2	5.3	R/W	s16	通道 2 相位补偿
0x009C	视在功率因子 1	5.4.2	R/W	u16	通道 1 与 I_{RMS} 和 V_{RMS} 分辨率匹配的视在功率因子的位数
0x009E	视在功率因子 2	5.4.2	R/W	u16	通道 2 与 I_{RMS} 和 V_{RMS} 分辨率匹配的视在功率因子的位数
设计配置寄存器					
0x00A0	系统配置	6.5	R/W	b32	器件配置 (包括 ADC 配置) 的控制
0x00A4	事件配置	7.5	R/W	b32	事件引脚的设置 (包括继电器控制)
0x00A8	累加间隔参数	5.2	R/W	u16	将在一个计算周期内使用的 2^N 个线路周期中的 N
0x00AA	校准电压	9.3.1	R/W	u16	单点校准期间将使用的目标电压
0x00AC	校准工频	9.6.1	R/W	u16	标称工频的参考值
0x00AE	范围 1	6.6	R/W	b32	通道 1 输出的换算因数
0x00B2	校准电流 1	9.3.1	R/W	u32	通道 1 单点校准期间将使用的目标电流
0x00B6	校准有功功率 1	9.3.1	R/W	u32	通道 1 单点校准期间将使用的目标有功功率
0x00BA	校准无功功率 1	9.3.1	R/W	u32	通道 1 单点校准期间将使用的目标无功功率
0x00BE	范围 2	6.6	R/W	b32	通道 2 输出的换算因数

表 6-1: MCP39F511N 寄存器映射 (续)

地址	寄存器名称	章节编号	读/写	数据类型	说明
0x00C2	校准电流 2	9.3.1	R/W	u32	通道 2 单点校准期间将使用的目标电流
0x00C6	校准有功功率 2	9.3.1	R/W	u32	通道 2 单点校准期间将使用的目标有功功率
0x00CA	校准无功功率 2	9.3.1	R/W	u32	通道 2 单点校准期间将使用的目标无功功率
0x00CE	电压跌落限值	7.2	R/W	u16	RMS 电压跌落阈值, 达到此值时记录事件标志
0x00D0	电压浪涌限值	7.2	R/W	u16	RMS 电压浪涌阈值, 达到此值时记录事件标志
0x00D2	过流限值 1	7.2	R/W	u32	通道 1 RMS 过流阈值, 达到此值时记录事件标志
0x00D6	过流限值 2	7.2	R/W	u32	通道 2 RMS 过流阈值, 达到此值时记录事件标志
0x00DA	过功率限值 1	7.2	R/W	u32	通道 1 过功率阈值, 达到此值时记录事件标志
0x00DE	过功率限值 2	7.2	R/W	u32	通道 2 过功率阈值, 达到此值时记录事件标志
外设的控制寄存器					
0x00E2	PWM 周期	8.2	R/W	u16	控制 PWM 频率的输入寄存器
0x00E4	PWM 占空比	8.3	R/W	u16	控制 PWM 占空比的输入寄存器
0x00E6	保留	—	—	u16	保留
0x00E8	保留	—	—	u16	保留
0x00EA	VoltagePhaseCompFreqCoef	—	—	u16	相位补偿频率系数
0x00EC	RangeVoltageChPhaseCompFreq	—	—	u16	电压通道相位频率补偿范围
0x00EE	GainActivePowerCompFreqCoef	—	—	u16	有功功率增益频率补偿系数
0x00F0	RangeGainActivePowerCompFreq	—	—	u16	有功功率增益频率补偿范围
0x00F2	GainReactivePowerCompFreq	—	—	u16	无功功率增益频率补偿系数
0x00F4	RangeGainReactivePowerCompFreq	—	—	u16	无功功率增益频率补偿范围
0x00F6	GainVoltageRMSCompFreqCoef	—	—	u16	RMS 电压增益频率补偿系数
0x00F8	RangeGainVoltageRMSCompFreq	—	—	u16	RMS 电压增益频率补偿范围
0x00FA	GainCurrentRMSCompFreqCoef	—	—	u16	RMS 电流增益频率补偿系数
0x00FC	RangeGainCurrentRMSCompFreq	—	—	u16	RMS 电流增益频率补偿范围
0x00FE	无负载阈值	5.6.1	R/W	u16	电能计数无负载阈值 (两个通道, 所有寄存器)

MCP39F511N

6.2 地址指针寄存器

此16位无符号寄存器包含所有读写指令指向的地址。
此寄存器仅通过Set Address Pointer命令执行写操作，否则将超出寄存器地址的可写范围。

6.3 系统状态寄存器

系统状态寄存器是一个只读寄存器，可用于检测引脚电平的不同状态，定义如寄存器6-1所示。

寄存器6-1： 系统状态寄存器

U-0	U-0	U-0	R-x	R-n	R-n	R-x	R-n
—	—	—	AC_STATUS	EVENT2	EVENT1	OVERPOW2	OVERCURR2
bit 15			bit 8				

R-n	R-n	R-n	R-n	R-n	R-n	R-n	R-n
SIGN_PR_CH2	SIGN_PA_CH2	SIGN_PR_C_H1	SIGN_PA_C_H1	OVERPOW1	OVERCURR1	VSURGE	VSAG
bit 7				bit 0			

图注：

R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零
		x = 未知

- bit 15-13 **未实现：** 读为0
- bit 12 **AC_STATUS：** AC检测状态
1 = AC检测失败。
0 = AC检测成功。
- bit 11 **EVENT2：** 事件2状态检测算法。该位锁存且必须清零。
1 = 已发生事件2。
0 = 未发生事件2。
- bit 10 **EVENT1：** 事件1状态检测算法。该位锁存且必须清零。
1 = 已发生事件1。
0 = 未发生事件1。
- bit 9 **OVERPOW2：** 通道2过功率。通道2上已发生过功率事件。
1 = 已超出过功率阈值
0 = 未超出过功率阈值
- bit 8 **OVERCURR2：** 通道2过电流。通道2上已发生过电流事件。
1 = 已超出过电流阈值
0 = 未超出过电流阈值
- bit 7 **SIGN_PR_CH2：** 通道2无功功率符号（无功功率的感性/容性状态）
1 = 无功功率是感性的，位于象限1和2
0 = 无功功率是容性的，位于象限3和4
- bit 6 **SIGN_PA_CH2：** 通道2有功功率符号（有功功率的输入/输出符号）
1 = 有效功率为正（输入），位于象限1和4
0 = 有效功率为负（输出），位于象限2和3

寄存器 6-1: 系统状态寄存器 (续)

bit 5	SIGN_PR_CH1: 通道1无功功率符号 (无功功率的感性/容性状态) 1 = 无功功率是感性的, 位于象限1和2 0 = 无功功率是容性的, 位于象限3和4
bit 4	SIGN_PA_CH1: 通道1有功功率符号 (有功功率的输入/输出符号) 1 = 有效功率为正 (输入), 位于象限1和4 0 = 有效功率为负 (输出), 位于象限2和3
bit 3	OVERPOW1: 通道1过功率。通道1上已发生过功率事件。 1 = 已超出过功率阈值 0 = 未超出过功率阈值
bit 2	OVERCURR1: 通道1过电流。通道1上已发生过电流事件。 1 = 已超出过电流阈值 0 = 未超出过电流阈值
bit 1	VSURGE: 电压浪涌。电压浪涌状态检测算法。该位锁存且必须清零 1 = 已超出浪涌阈值 0 = 未超出浪涌阈值
bit 0	VSAG: 电压跌落。电压跌落状态检测算法。该位锁存且必须清零 1 = 已超出跌落阈值 0 = 未超出跌落阈值

6.4 系统版本寄存器

系统版本寄存器由Microchip Technology Inc.硬编码, 包含计算引擎的日期代码信息。系统版本寄存器是一个采用YMDD格式的日期代码, 其中年和月采用十六进制, 日采用十进制 (例如, 0xFB20 = 2015年11月20日)。

6.5 系统配置寄存器

系统配置寄存器包含用于实现以下控制的位:

- PGA 设置
- ADC复位状态
- ADC关断状态
- 参考电压微调
- 单线自动传输

下面几节将介绍这些选项。

6.5.1 可编程增益放大器 (PGA)

每个24位 Δ - Σ ADC的前端有两个可编程增益放大器 (Programmable Gain Amplifier, PGA)。这两个放大器具备以下功能:

- 将输入的共模电压从 A_{GND} 转换为 A_{GND} 与 A_{VDD} 间的内部电压。
- 放大输入差分信号

共模转换不会改变差分信号而是进入共模状态, 以便正确地放大输入信号。

PGA模块可用于放大极弱的信号, 但不得超出 Δ - Σ 调制器的差分输入范围。PGA由寄存器6-2系统配置寄存器中的PGA_CHn<2:0>位控制。表6-2给出了PGA的增益设置。

表6-2: PGA配置设置 (注1)

增益 PGA_CHn<2:0>			增益 (V/V)	增益 (dB)	V_{IN} 范围 (V)
0	0	0	1	0	± 0.6
0	0	1	2	6	± 0.3
0	1	0	4	12	± 0.15
0	1	1	8	18	± 0.075
1	0	0	16	24	± 0.0375
1	0	1	32	30	± 0.01875

注 1: 该表是在 $V_{REF} = 1.2V$ 的基础上定义的。两个未定义设置 (110和111) 为 $G = 1$ 。

6.5.2 24位ADC复位模式（软复位模式）

只能通过将系统状态寄存器中的RESET<1:0>位置为高电平来进入24位ADC复位（也称软复位）模式。此模式定义为转换器有效但其输出被强制为0的状态。

6.5.3 ADC关断模式

ADC关断模式定义为转换器及其偏置关闭，从而仅消耗泄漏电流的状态。当关断位复位为0时，将使能模拟偏置、时钟和数字电路。

每个转换器均可单独置于关断模式。只能通过编程系统状态寄存器中的SHUTDOWN<1:0>位使用此模式。

6.5.4 V_{REF} 温度补偿

内部参考电压包含专用的电路和算法，用于补偿一阶和二阶温度系数。此补偿能够在-40°C到+125°C的整个温度范围内实现超低温度系数（典型值为10 ppm/°C）。每个器件的此温度系数有所不同。

此寄存器的默认值设置为0x42。图6-1给出了内部参考电压的温度系数相对于VREFCAL寄存器代码的典型变化曲线。

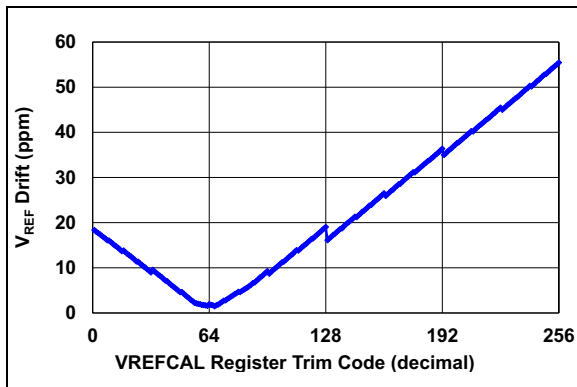


图6-1: V_{REF} 温度系数——VREFCAL 微调代码曲线图

寄存器 6-2: 系统配置寄存器

U-0	U-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1	R/W-0	R/W-1	R/W-1
—	—	PGA_CH2<2:0>			PGA_CH1<2:0>		
bit 31				bit 24			

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
bit 23				bit 16			

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
UART<2:0>			ZCD_INV	ZCD_PULS	ZCD_OUTPUT_DIS	ENERGY2	ENERGY1
bit 15				bit 8			

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0
PWM	RESET<1:0>		SHUTDOWN<1:0>		VREFEXT	—	—
bit 7						bit 0	

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为0

-n = POR时的值

1 = 置1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-30 未实现: 读为0

bit 29-27 **PGA_CH2 <2:0>**: 通道2的PGA设置

111 = 保留 (增益 = 1)

110 = 保留 (增益 = 1)

101 = 增益为32

100 = 增益为16

011 = 增益为8 (默认值)

010 = 增益为4

001 = 增益为2

000 = 增益为1

bit 26-24 **PGA_CH1 <2:0>**: 通道1的PGA设置

111 = 保留 (增益 = 1)

110 = 保留 (增益 = 1)

101 = 增益为32

100 = 增益为16

011 = 增益为8 (默认值)

010 = 增益为4

001 = 增益为2

000 = 增益为1

bit 23-16 未实现: 读为0

bit 15-13 **UART<2:0>**: UART波特率位

111 = 1200

110 = 2400

101 = 4800

100 = 9600

011 = 19200

010 = 38400

001 = 57600

000 = 115200 (默认值)

bit 12 **ZCD_INV**: 过零检测输出反相

1 = ZCD反相

0 = ZCD不反相 (默认值)

MCP39F511N

寄存器 6-2: 系统配置寄存器 (续)

bit 11	ZCD_PULS: 过零检测脉冲模式 1 = ZCD 在过零点输出 100 μ s 脉冲 0 = ZCD 输出在过零点处改变逻辑状态 (默认值)
bit 10	ZCD_OUTPUT_DIS: 禁止过零输出引脚 1 = 禁止 ZCD 输出 0 = 使能 ZCD 输出 (默认值)
bit 9	ENERGY2: 通道 2 电能计数控制 1 = 使能通道 2 电能计数 0 = 复位并禁止通道 2 电能计数 (默认值)
bit 8	ENERGY1: 通道 1 电能计数控制 1 = 使能通道 1 电能计数 0 = 复位并禁止通道 1 电能计数 (默认值)
bit 7	PWM: PWM 控制 1 = 使能 PWM 输出 0 = 禁止 PWM 输出 (默认值)
bit 6-5	RESET <1:0>: 电流测量 ADC 的复位模式设置 11 = I1 和 I2 均处于复位模式 10 = I2 ADC 处于复位模式 01 = I1 ADC 处于复位模式 00 = 两个 ADC 均不处于复位模式 (默认值)
bit 4-3	SHUTDOWN <1:0>: 电流测量 ADC 的关断模式设置 11 = I1 和 I2 均处于关断模式 10 = I2 ADC 处于关断模式 01 = I1 ADC 处于关断模式 00 = 两个 ADC 均不处于关断模式 (默认值)
bit 2	VREFEXT: 内部参考电压关断控制 1 = 禁止内部参考电压 0 = 使能内部参考电压 (默认值)
bit 1-0	未实现: 读为 0

6.6 范围寄存器

范围寄存器为32位寄存器，其中包含以下输出的位右移位数，下文的两个寄存器将其分成多个独立字节进行了定义：

- RMS 电压
- 通道1 RMS 电流
- 通道1 功率
- 通道2 RMS 电流
- 通道2 功率

请注意，功率范围字节可作用于有功功率寄存器和无功功率寄存器，并为它们设置相同的范围。

该寄存器有双重目的：位右移位数（除以 2^{RANGE} ）必须：

- 足够高以防止输出寄存器溢出
- 足够低以实现所需的输出分辨率。

用户应负责正确设置该寄存器，以确保针对给定电表设计进行适当的输出操作。

更多信息与使用示例，请参见[第9.3节“单位功率因数下的单点增益校准”](#)。

寄存器 6-3: 范围1寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 31				bit 24			

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
POWER1[7]	POWER1[6]	POWER1[5]	POWER1[4]	POWER1[3]	POWER1[2]	POWER1[1]	POWER1[0]
bit 23				bit 16			

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CUR-RENT1[7]	CUR-RENT1[6]	CUR-RENT1[5]	CUR-RENT1[4]	CUR-RENT1[3]	CUR-RENT1[2]	CUR-RENT1[1]	CUR-RENT1[0]
bit 15				bit 8			

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
VOLTAGE[7]	VOLTAGE[6]	VOLTAGE[5]	VOLTAGE[4]	VOLTAGE[3]	VOLTAGE[2]	VOLTAGE[1]	VOLTAGE[0]
bit 7				bit 0			

图注：

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位，读为0

-n = POR时的值

1 = 置1

0 = 清零

x = 未知

bit 31-24 **未实现：** 读为0

bit 23-16 **POWER1[7:0]：** 设置通道1有功功率输出寄存器和无功功率输出寄存器的位右移位数。

bit 15-8 **CURRENT1[7:0]：** 设置通道1 RMS 电流输出寄存器的位右移位数。

bit 7-0 **VOLTAGE[7:0]：** 设置RMS电压输出寄存器的位右移位数。

MCP39F511N

寄存器 6-4: 范围2寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 31							bit 24
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
POWER2[7]	POWER2[6]	POWER2[5]	POWER2[4]	POWER2[3]	POWER2[2]	POWER2[1]	POWER2[0]
bit 23							bit 16
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CUR-RENT2[7]	CUR-RENT2[6]	CUR-RENT2[5]	CUR-RENT2[4]	CUR-RENT2[3]	CUR-RENT2[2]	CUR-RENT2[1]	CUR-RENT2[0]
bit 15							bit 8
U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 7							bit 0

图注:			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

- bit 31-24 未实现：读为0
- bit 23-16 **POWER2[7:0]**：设置通道2有功功率输出寄存器和无功功率输出寄存器的位右移位数。
- bit 15-8 **CURRENT2[7:0]**：设置通道2 RMS 电流输出寄存器的位右移位数。
- bit 7-0 未实现：读为0

7.0 事件输出引脚/事件配置寄存器

7.1 事件引脚

MCP39F511N器件具有2个事件引脚，共有3种可能的配置。这些配置为：

1. 没有事件映射到引脚上
2. 电压浪涌、电压跌落、过电流或过功率事件映射到引脚上。多个事件可以映射到同一个引脚上。
3. 单独手动控制两个引脚。只有当没有事件映射到引脚时才可能。

这三种配置允许控制取决于测量功率、电流或电压的外部中断或硬件。以下事件配置寄存器说明了如何配置这些事件和引脚。

7.2 限值

这些事件有以下6个相关的限值寄存器：

- 电压跌落限值
- 电压浪涌限值
- 通道1过电流限值
- 通道1过功率限值
- 通道2过电流限值
- 通道2过功率限值

这些限值中的每一个都与电压、电流和功率的相应输出寄存器进行比较，并且应具有相同的单位，例如0.1V、0.01W等。

7.3 电压跌落和电压浪涌检测

电压跌落和电压浪涌事件报警的工作方式与过电流和过功率事件报警有所不同，后者为每个计算周期测试一次。而这两种事件报警设计为在出现报警条件时提供更加快速的中断。请注意，由于检测时间小于一个线路周期，因此这两种事件均没有关联的保持寄存器。

计算引擎会持续跟踪后续的输入电压均方值，如公式7-1定义：

公式7-1：

$$V_{SA} = \frac{2 \times f_{LINE}}{f_{SAMPLE}} \times \left[\sum_{n = -\frac{f_{SAMPLE}}{2 \times f_{LINE}} - 1}^0 V_n \right]^2$$

因此，每当数据就绪时，都会将 V_{SA} 的值与电压跌落限值寄存器和电压浪涌限值寄存器中设置的可编程阈值进行比较，以决定是否应将标志置1。如果这两种事件之一被映射到事件1引脚或事件2引脚，则会在这些引脚上提供逻辑高电平中断。

跌落或浪涌事件可用于快速确定系统中是否发生了电源故障。

7.4 校准状态事件

事件寄存器包含8个位，用于指示通过Auto-Calibrate Gain命令发出的校准尝试通过还是失败。

这些命令可用于校准两个通道的所有单点校准输出：

- 工频
- 电压
- 通道1电流
- 通道1有功功率
- 通道1无功功率
- 通道2电流
- 通道2有功功率
- 通道2无功功率

Bit 31-24是状态位，1代表校准失败。当针对任一通道（或两个通道）进行校准的校准命令成功时，这些位将复位为0。有关校准的更多信息，请参见第9.3节“单位功率因数下的单点增益校准”。

MCP39F511N

7.5 事件配置寄存器

事件配置寄存器用于控制事件操作和事件引脚，并提供事件和校准状态。

寄存器 7-1: 事件配置寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CAL_PR2	CAL_PR1	CAL_PA2	CAL_PA1	CAL_CURR2	CAL_CURR1	CAL_VOLT	CAL_LF
bit 31				bit 24			

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
OVER-POW_PIN2	OVER-CUR_PIN2	VSURGE_PIN2	VSAG_PIN2	OVER-POW_PIN1	OVER-CUR_PIN1	VSURGE_PIN1	VSAG_PIN1
bit 23				bit 16			

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
EVENT2_MANU	EVENT1_MANU	—	—	OVER-CUR_CL	OVER-POW_CL	VSURGE_CL	VSAG_CL
bit 15				bit 8			

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
VSUR_LA	VSAG_LA	OVER-POW_LA	OVER-CUR_LA	VSUR_TST	VSAG_TST	OVER-POW_TST	OVER-CUR_TST
bit 7				bit 0			

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位，读为0

-n = POR时的值

1 = 置1

0 = 清零

x = 未知

- bit 31 **CAL_PR2:** 通道2无功功率的单个校准结果
1 = 校准失败
0 = 校准成功
- bit 30 **CAL_PR1:** 通道1无功功率的单个校准结果
1 = 校准失败
0 = 校准成功
- bit 29 **CAL_PA2:** 通道2有功功率的单个校准结果
1 = 校准失败
0 = 校准成功
- bit 28 **CAL_PA1:** 通道1有功功率的单个校准结果
1 = 校准失败
0 = 校准成功
- bit 27 **CAL_CURR2:** 通道2 RMS 电流的单个校准结果
1 = 校准失败
0 = 校准成功
- bit 26 **CAL_CURR1:** 通道1 RMS 电流的单个校准结果
1 = 校准失败
0 = 校准成功
- bit 25 **CAL_VOLT:** RMS电压的单个校准结果
1 = 校准失败
0 = 校准成功

寄存器 7-1: 事件配置寄存器 (续)

bit 24	CAL_LF: 工频的单点校准结果 1 = 校准失败 0 = 校准成功
bit 23	OVERPOW_PIN2: 过功率事件的事件引脚2操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚2 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 22	OVERCUR_PIN2: 过电流事件的事件引脚2操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚2 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 21	VSURGE_PIN2: 电压浪涌事件的事件引脚2操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚2 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 20	VSAG_PIN2: 电压跌落事件的事件引脚2操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚2 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 19	OVERPOW_PIN1: 过功率事件的事件引脚1操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚1 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 18	OVERCUR_PIN1: 过电流事件的事件引脚1操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚1 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 17	VSURGE_PIN1: 电压浪涌事件的事件引脚1操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚1 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 16	VSAG_PIN1: 电压跌落事件的事件引脚1操作 1 = 仅将事件映射到事件引脚1 0 = 事件未映射到引脚 (默认值)
bit 15	EVENT2_MANU: 事件2引脚的手动控制 1 = 引脚为逻辑高电平 0 = 引脚为逻辑低电平 (默认值)
bit 14	EVENT1_MANU: 事件1引脚的手动控制 1 = 引脚为逻辑高电平 0 = 引脚为逻辑低电平 (默认值)
bit 13-12	未实现: 读为0
bit 11	OVERCUR_CL: 过电流事件的复位或清除位 1 = 事件被清除 0 = 事件未被清除 (默认值)
bit 10	OVERPOW_CL: 过功率事件的复位或清除位 1 = 事件被清除 0 = 事件未被清除 (默认值)
bit 9	VSURGE_CL: 电压浪涌事件的复位或清除位 1 = 事件被清除 0 = 事件未被清除 (默认值)
bit 8	VSAG_CL: 电压跌落事件的复位或清除位 1 = 事件被清除 0 = 事件未被清除 (默认值)
bit 7	VSUR_LA: 电压浪涌事件的锁存控制 1 = 事件被锁存并需要清除 0 = 事件未被锁存 (默认值)
bit 6	VSAG_LA: 电压跌落事件的锁存控制 1 = 事件被锁存并需要清除 0 = 事件未被锁存 (默认值)

MCP39F511N

寄存器 7-1: 事件配置寄存器（续）

- | | |
|-------|--|
| bit 5 | OVERPOW_LA: 过功率事件的锁存控制
1 = 事件被锁存并需要清除
0 = 事件未被锁存（默认值） |
| bit 4 | OVERCUR_LA: 过电流事件的锁存控制
1 = 事件被锁存并需要清除
0 = 事件未被锁存（默认值） |
| bit 3 | VSUR_TST: 电压浪涌事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭（默认值） |
| bit 2 | VSAG_TST: 电压跌落事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭（默认值） |
| bit 1 | OVERPOW_TST: 过功率事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭（默认值） |
| bit 0 | OVERCUR_TST: 过电流事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭（默认值） |

8.0 脉宽调制（PWM）

8.1 概述

PWM 输出引脚可提供最高10 位分辨率的脉宽调制信号。PWM 输出由MCP39F511N 中的内部定时器控制，该定时器对应于本章中说明的F_{TIMER}，其基本频率为32 MHz。

基本周期定义为P_{TIMER}，值为1/[32 MHz]。由于8 MHz 内部振荡器或8 MHz 外部晶振的原因，该32 MHz 时基是固定的。

只有PWM 控制寄存器的值为0x0001 时，PWM 的输出才有效。当寄存器的值为0x0000 时，PWM 输出关闭。

PWM 输出（见图8-1）具有时基（周期）和输出保持高电平的时间（占空比）。PWM 的频率是周期的倒数（1/周期）。

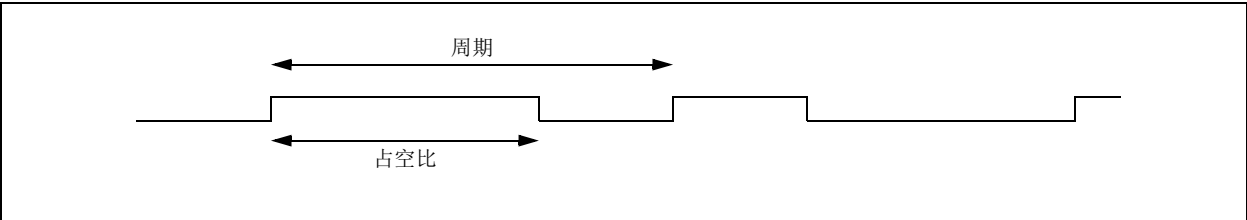


图8-1： PWM 输出

有两个控制PWM 输出、PWM 周期和PWM 占空比的寄存器。

8 位PWM 周期由包含周期位和预分频比位的16 位寄存器控制。PWM 周期位是寄存器中的高8 位，预分频值由低2 位表示。这两个值一起构成PWM 周期（见图8-2）。

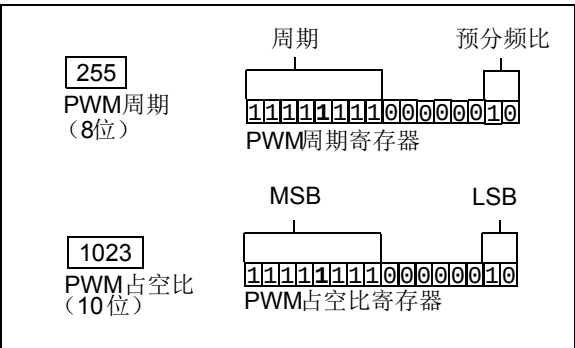


图8-2： PWM 周期和占空比寄存器

10 位PWM 占空比由一个16 位寄存器控制，其中高8 位为10 位值的8 个MSb，低2 位对应于10 位值的2 个LSb。

该寄存器值的示例如图8-2 所示，255 对应于PWM 频率（8 位值），1023 对应于占空比（10 位值），预分频器设置为进行16 分频（1:0）。

8.2 PWM 周期

PWM周期通过写入PWM周期寄存器的PWM周期位来指定。PWM周期可使用以下公式计算：

公式8-1:

$$PWM\ 周期 = [(PWM\ 频率) + 1] \times 2 \times P_{TIMER} \times (预分频值)$$

PWM周期定义为1/[PWM频率]。当P_{TIMER}与PWM周期相等时，在下一个递增周期将发生以下2个事件：

- PWM定时器清零
- PWM引脚置1。例外情况：如果PWM占空比 = 0%，PWM引脚将不会置1。

8.3 PWM 占空比

PWM占空比通过写入PWM占空比寄存器来指定。最高可提供10位分辨率。PWM占空比寄存器包含八个MSb和两个LSb。以下公式用于计算PWM占空比（以百分比或时间为单位）：

公式8-1:

$$PWM\ 占空比\ (\%) = (PWM\ 占空比) / (4 \times PWM\ 频率)$$
$$PWM\ 占空比\ (时间, 单位为s) = (PWM\ 占空比) \times PWM\ 定时器周期 / 2 \times (预分频值)$$

PWM占空比寄存器可以在任何时候写入，但占空比值在一个周期完成之后才会锁存。

PWM寄存器和一个2位的内部锁存器用于为PWM占空比提供双重缓冲。这种双重缓冲极其重要，可以避免在PWM工作过程中产生毛刺。

给定PWM频率的最大PWM分辨率（位）如公式8-2所示。

公式8-2: 由PWM频率决定的最大PWM分辨率

$$PWM\ 分辨率\ (最大值) = \frac{\log\left(\frac{2 \cdot F_{TIMER}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)}\ 位$$

注： 如果PWM占空比值比PWM周期长，则PWM引脚不会清零。

表 8-2: PWM_TIMER_FREQ = 32 MHz (默认值) 时 PWM 频率和分辨率示例

PWM 频率	1.95 kHz	31.25 kHz	62.5 kHz	125 kHz	2.67 MHz	4 MHz
定时器预分频比	16	1	1	1	1	1
PWM 频率值	FFh	FFh	7Fh	3Fh	02h	01h
最高分辨率 (位)	10	10	9	4	3	2

寄存器 8-1: PWM 周期寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
PWM_P<7:0>							
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	PRE<1:0>	
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 15-8 **PWM_P<7:0>**: 8 位 PWM 周期值

bit 7-2 未实现: 读为 0

bit 1-0 **PRE<1:0>**: PWM 预分频比

11 = 未使用

10 = 1:16

01 = 1:4

00 = 1:1 (默认值)

寄存器 8-2: PWM 占空比寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
DUTY<9:2>							
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	DUTY<1:0>	
bit 7							bit 0

图注:

R = 可读位

W = 可写位

U = 未实现位, 读为 0

-n = POR 时的值

1 = 置 1

0 = 清零

x = 未知

bit 15-8 **DUTY<9:2>**: 10 位占空比值的高 8 位

bit 7-2 未实现: 读为 0

bit 1-0 **DUTY<1:0>**: 10 位占空比值的低 2 位

MCP39F511N

注:

9.0 MCP39F511N校准

9.1 概述

校准可对系统中的ADC增益误差、元件容差和总体噪声进行补偿。该器件提供了片上校准算法，可快速执行简单的系统校准。MCP39F511N上的A/D转换器具有优异的模拟性能，可进行单点校准，并通过一条校准命令实现精确测量。

可使用预定义的自动校准命令进行校准，也可以直接写入校准寄存器进行校准。如果用户需要额外的校准点（交流失调、相位补偿和直流失调），可以使用相应的校准寄存器，本节将分别介绍这些寄存器。

9.2 校准顺序

校准时需遵循正确的步骤。

如果器件使用内部振荡器工作，那么应先使用 **Auto-Calibrate Frequency** 命令校准工频。

然后应该在单位功率因数下进行单点增益校准。可以为单个通道或同时为两个通道完成此操作，具体取决于用户的校准设置。

如果关注的是非单位位移功率因数测量，下一步应当进行相位校准，然后是无功功率增益校准。

以下是关于校准步骤顺序的总结：

1. 工频校准
2. PF = 1时单通道或双通道的增益校准
3. PF ≠ 1时单通道或双通道的相位校准（可选）
4. PF ≠ 1时单通道或双通道的无功增益校准（可选）

如果一次校准单个通道，请对第二个通道重复步骤2-4。

9.3 单位功率因数下的单点增益校准

如果在交流模式下使用器件时开启高通滤波器，则可以移除大部分失调误差，此时只需要进行单点增益校准。

对相应寄存器执行写操作可以手动将增益寄存器正确设置为产生所需输出。一种替代方法是使用本节介绍的自动校准命令。

9.3.1 使用 AUTO-CALIBRATION GAIN 命令

应用与目标校准电流、校准电压和校准有功功率寄存器中的值相等的稳定参考电压和电流后，即可向器件发出 **Auto-Calibration Gain** 命令。

校准成功后（响应 = ACK），可发出 **Save Registers to Flash** 命令来保存器件计算的校准常量。

发出 **Auto-Calibration Gain** 命令后，以下寄存器将置1：

- 通道1 RMS 电流增益
- 通道2 RMS 电流增益
- RMS 电压增益
- 通道1有功功率增益
- 通道2有功功率增益

通道可以单独或同时进行校准，具体取决于命令字节后面的指令参数字节。

该命令发出后，MCP39F511N会尝试根据如下公式更改增益寄存器，从而使全部三个输出量的测量值与预期值相匹配：

公式9-1:

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \cdot \frac{\text{预期值}}{\text{测量值}}$$

此公式同时适用于RMS电压、RMS电流和有功功率。由于全部三个输出量的增益寄存器均为16位数字，因此预期值与测量值（可通过更改范围寄存器进行修改）的比值以及先前增益必须确保公式能够得到一个有效的数字。此处的限值设置为25,000至65,535。对于全部三种输出，如果新增增益在此限制范围内，则会返回ACK以指示校准成功，否则命令将返回NAK以指示校准尝试失败。

用户应负责确保范围设置、PGA设置和硬件设计设置均正确无误，以便能够使用该命令成功校准。

9.3.2 有效校准的范围选择示例

在本示例中，用户对未经校准的系统施加1A的校准电流。在系统特定的电流检测电阻值和PGA增益等条件下，RMS电流寄存器的指示值为2300。用户希望在应用1A电流后，RMS电流寄存器中的值为1000，即1.000A（分辨率为1mA）。其他给定值为：

- RMS电流增益的现有值为33480
- 范围的现有值为12

使用公式9-1计算Gain_{NEW}，结果如下：

公式9-2:

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{\text{预期值}}{\text{测量值}} = 33480 \times \frac{1000}{2300} = 14556$$
$$14556 < 25,000$$

当使用Auto-Calibration Gain命令时，结果将为校准失败或者MCP39F511N返回NAK，这是因为Gain_{NEW}的结果小于25,000。

解决方案是使用范围寄存器令测量值接近预期值，从而使计算出的新增益值在上文指定的限值范围内。

在与RMS电流增益寄存器相乘之后，范围寄存器会指定右移位数（等效于除以2）。有关范围寄存器的信息，请参见第5.0节“计算引擎（CE）说明”。

范围寄存器每增加1个单位，计算中就要右移一位或者除以2。将电流范围从12增加到13会产生新的RMS电流寄存器测量值：2300/2 = 1150。预期值（1000）和测量值（1150）现在更加接近，因此预期的新增益应在限值范围内：

公式9-3:

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{\text{预期值}}{\text{测量值}} = 33480 \times \frac{1000}{1150} = 29113$$
$$25,000 < 29113 < 65535$$

新的增益结果在限值范围内，器件成功校准了RMS电流并返回ACK。

可以看出，如果将范围设置为14，新增益结果仍会在限值范围内（Gain_{NEW} = 58226）。不过，由于增益值接近16位增益寄存器的限值，因此不同系统间的差异

（元件容差等）可能导致无法成功校准某些器件并出现问题。最好的办法是选择一个范围值，将新增益置于上述增益寄存器范围的中间位置。

在第二个示例中，用户希望在施加1A电流后获得1.0000A输出（分辨率为0.1mA）。该示例的初始值与第一个示例相同：

公式9-4:

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{\text{预期值}}{\text{测量值}} = 33480 \times \frac{10000}{2300} = 145565$$
$$145565 > 65535$$

Gain_{NEW}远大于16位增益寄存器的限值65535，因此必须引入更少的位右移位数才能使测量值更接近预期值。用户需要计算出可以使测量值小于65535的位移位数。该值估算为：

公式9-5:

$$\frac{145565}{65535} = 2.2$$

2.2舍入为最接近的整数值2。范围值变为12 - 2 = 10；位右移减少了2位。

新的测量值将为2300x2² = 9200。

公式9-6:

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{\text{预期值}}{\text{测量值}} = 33480 \times \frac{10000}{9200} = 36391$$
$$25,000 < 36391 < 65535$$

新的增益结果在限值范围内，器件成功校准了RMS电流并返回ACK。

9.4 校准相位补偿寄存器

相位补偿用于调整电流与电压路径之间的任意相位延时。通道1和通道2都有独立的相位补偿寄存器。此步骤需要正弦电流和电压波形，并且要求二者之间存在明显相移且均具有较大幅值。推荐使用0.5的位移功率因数进行校准。相位补偿寄存器的计算步骤如下：

1. 确定测量功率因数（ PF_{MEAS} ）对应相角与期望功率因数（ PF_{EXP} ）对应相角之间的差值，以度为单位。

公式9-7:

$$PF_{MEAS} = \frac{\text{有功功率}}{\text{校准有功功率}}$$

$$ANGLE_{MEAS} (^{\circ}) = \arccos(PF_{MEAS}) \times \frac{180}{\pi}$$

$$ANGLE_{EXP} (^{\circ}) = \arccos(PF_{EXP}) \times \frac{180}{\pi}$$

2. 通过公式9-8将所得结果从度数转换为分辨率。

每个线路周期有56次采样。一个线路周期为360度，因此对于每次采样，相角为360度/56次采样 = 6.4257..度/采样。

由于相位补偿有符号位，可以补偿的最大相角误差只有一半，即+/-3.21..度。

将相角转换为8位分辨率可得出256/6.42度 = 39.82..近似值为40。

公式9-8:

$$\Phi = (ANGLE_{MEAS} - ANGLE_{EXP}) \times 40$$

3. 将此附加相位补偿与当前相位补偿中的任何值组合并更新寄存器。建议公式9-9以有符号的8位二进制补码值的形式计算。所得8位结果将置于16位相位补偿寄存器的最低有效字节中。

公式9-9:

$$PhaseCompensation_{NEW} = PhaseCompensation_{OLD} + \Phi$$

根据公式9-9可知，最大相角补偿可达到±3.2度。如果需要更大相移，请联系当地Microchip销售办事处。

9.5 失调/无负载校准

在失调校准期间，建议不要向系统施加电流。系统应处于无负载状态。

9.5.1 交流失调校准

以下三个寄存器与交流失调校准相关：

- 通道1 RMS 电流失调
- 通道2 RMS 电流失调
- 通道1有功功率失调
- 通道2有功功率失调
- 通道1无功功率失调
- 通道2无功功率失调

计算交流失调值时，应根据图5-2和图5-4中的框图对相应的增益和范围寄存器加以考虑。

失调校准成功后，可发出Save Registers to Flash命令来保存器件计算的校准常量。

9.6 校准工频寄存器

工频寄存器包含16位数字，其值与输入工频相等，因为该值在电压通道上测得。

只有在45 Hz到65 Hz范围内的工频测量值有效。

9.6.1 使用AUTO-CALIBRATE FREQUENCY命令

应用稳定参考电压以及与工频参考寄存器值相等的恒定工频后，即可向器件发出Auto-Calibrate Frequency命令。

校准成功后（响应=ACK），可发出Save Registers to Flash命令来保存器件计算的校准常量。

发出Auto-Calibrate Frequency命令后，如下寄存器将置1：

- 工频增益

公式9-1给出了用于计算新增益值的公式。

9.7 检索出厂默认校准值

在进行用户校准并发出Save to Flash命令后，即可检索出厂默认校准值。检索操作可以通过以下方式实现：将0xA5A5写入校准分隔符寄存器、发出Save to Flash，然后复位器件。此过程将检索所有出厂默认校准值，并将保持此状态，直到再次执行校准并发出Save to Flash命令。

MCP39F511N

10.0 EEPROM

数据EEPROM是一个16位宽的存储器。每个字均可直接寻址，并且可在整个V_{DD}范围内进行读写。MCP39F511N的EEPROM中具有256个16位字，分为32页，共512字节。

可通过以下三种命令来访问EEPROM阵列。

- EEPROM Page Read (0x42)
- EEPROM Page Write (0x50)
- EEPROM Bulk Erase (0x4F)

表10-1: EEPROM命令和器件响应示例

命令	命令ID字节0	字节1-N	字节数	成功响应
Page Read EEPROM	0x42	页	2	ACK、数据和校验和
Page Write EEPROM	0x50	页 + 16字节数据	18	ACK
Bulk Erase EEPROM	0x4F	无	1	ACK

表10-2: MCP39F511N EEPROM构成

页		00	02	04	06	08	0A	0C	0E
0	0000	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
1	0010	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
2	0020	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
3	0030	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
4	0040	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
5	0050	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
6	0060	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
7	0070	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
8	0080	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
9	0090	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
10	00A0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
11	00B0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
12	00C0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
13	00D0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
14	00E0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
15	00F0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
16	0100	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
17	0110	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
18	0120	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
19	0130	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
20	0140	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
21	0150	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
22	0160	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
23	0170	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
24	0180	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
25	0190	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
26	01A0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
27	01B0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
28	01C0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
29	01D0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
30	01E0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
31	01F0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF

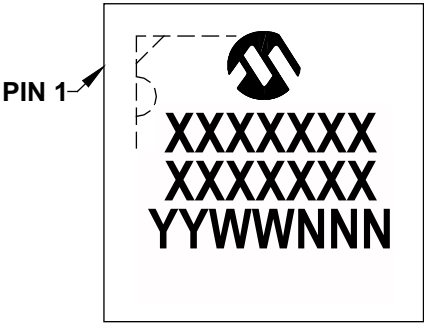
注:

MCP39F511N

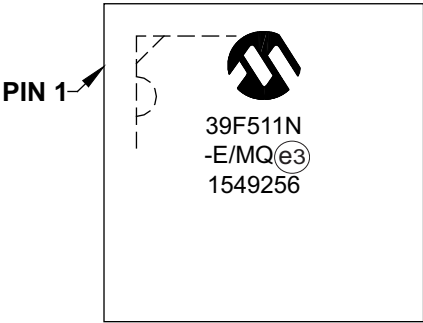
11.0 封装信息

11.1 封装标识信息

28引脚QFN（5x5x0.9 mm）



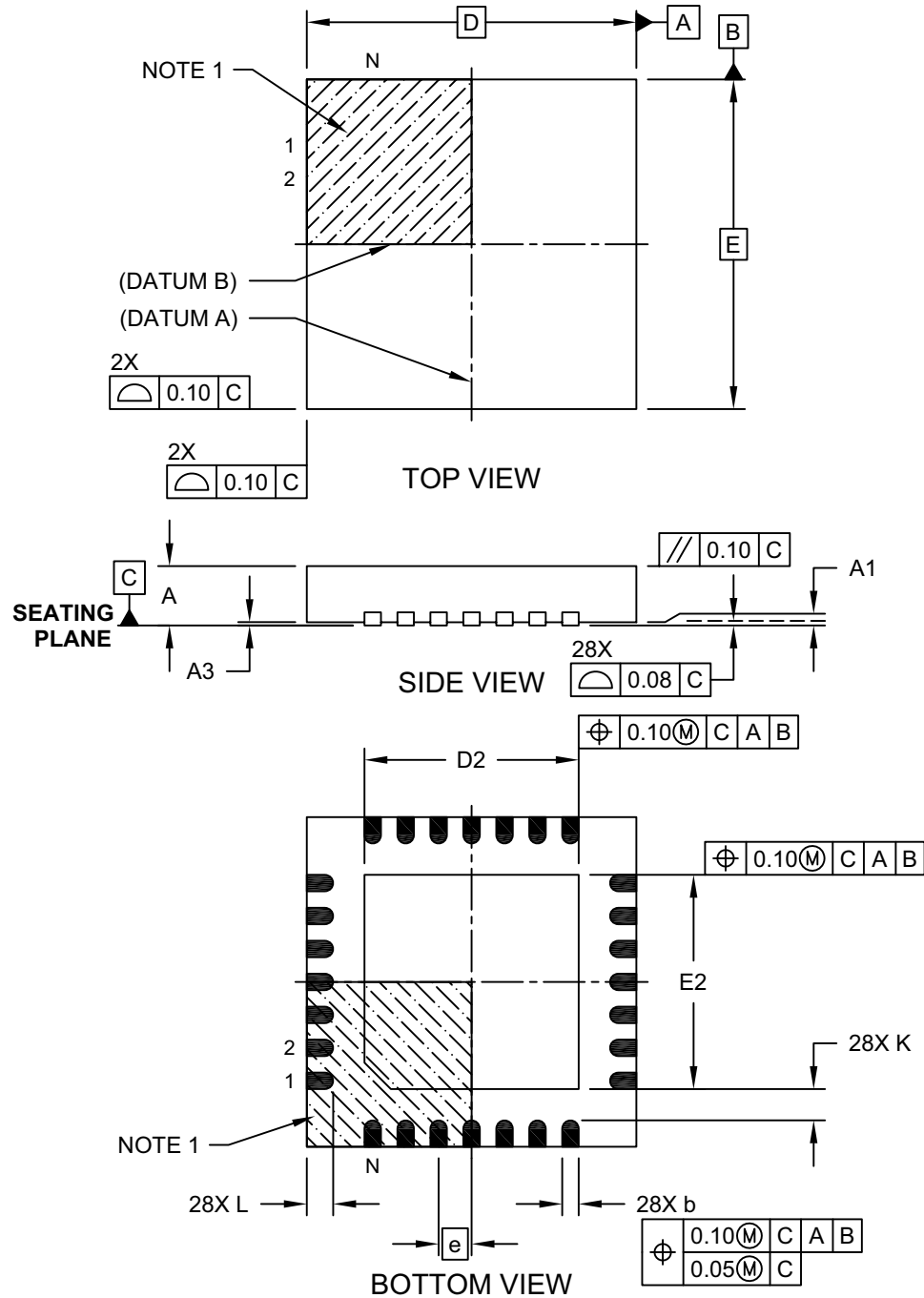
示例



图注：	XX...X	客户指定信息
	Y	年份代码（日历年的最后一位数字）
	YY	年份代码（日历年的最后两位数字）
	WW	星期代码（一月一日的星期代码为“01”）
	NNN	以字母数字组成的追踪代码
	(e3)	雾锡（Matte Tin, Sn）的JEDEC无铅标志
	*	表示无铅封装。JEDEC无铅标志（(e3)）标示于此种封装的外包装上。
注：	Microchip 部件编号如果无法在同一行内完整标注，将换行标出，因此会限制表示客户指定信息的字符数。	

28引脚塑封正方扁平无引线封装（MQ）——主体5x5x0.9 mm [QFN]

注：最新封装图请至<http://www.microchip.com/packaging>查看Microchip封装规范。

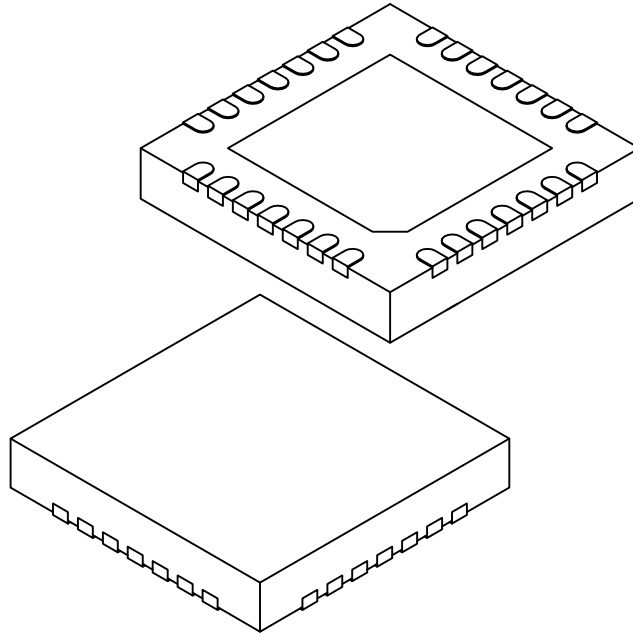


Microchip Technology Drawing C04-140C Sheet 1 of 2

MCP39F511N

28 引脚塑封正方扁平无引线封装（MQ）—— 主体 5x5x0.9 mm [QFN]

注： 最新封装图请至<http://www.microchip.com/packaging>查看Microchip封装规范。



Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	28		
Pitch	e	0.50 BSC		
Overall Height	A	0.80	0.90	1.00
Standoff	A1	0.00	0.02	0.05
Contact Thickness	A3	0.20 REF		
Overall Width	E	5.00 BSC		
Exposed Pad Width	E2	3.15	3.25	3.35
Overall Length	D	5.00 BSC		
Exposed Pad Length	D2	3.15	3.25	3.35
Contact Width	b	0.18	0.25	0.30
Contact Length	L	0.35	0.40	0.45
Contact-to-Exposed Pad	K	0.20	-	-

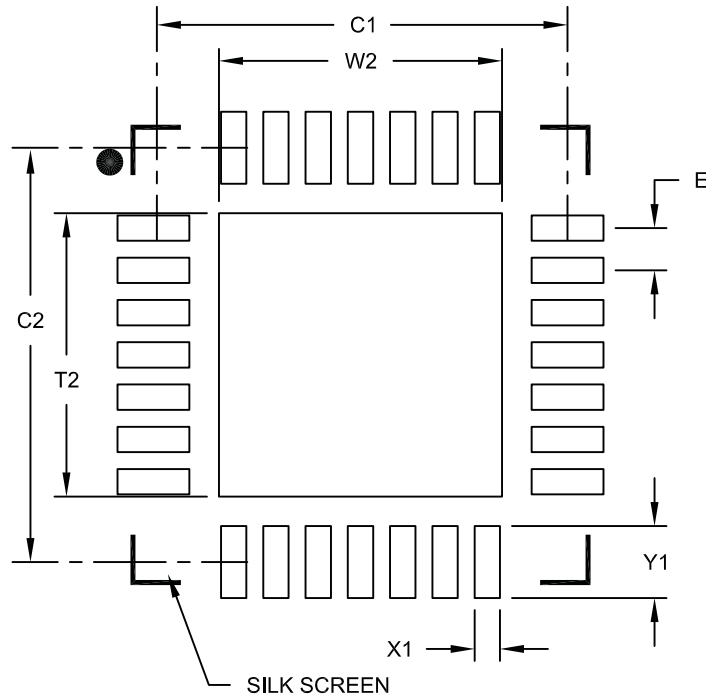
Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Package is saw singulated.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-140C Sheet 2 of 2

28 引脚塑封正方扁平无引线封装（MQ）—— 主体 5x5 mm[QFN]焊盘布局，触点长度为 0.55 mm

注： 最新封装图请至<http://www.microchip.com/packaging>查看Microchip封装规范。



RECOMMENDED LAND PATTERN

Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.50 BSC		
Optional Center Pad Width	W2			3.35
Optional Center Pad Length	T2			3.35
Contact Pad Spacing	C1		4.90	
Contact Pad Spacing	C2		4.90	
Contact Pad Width (X28)	X1			0.30
Contact Pad Length (X28)	Y1			0.85

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-2140A

附录A： 版本历史

版本B（2018年1月）

- 删除了对直流监视的所有引用。
- 少量文字修改。

版本A（2015年12月）

- 本文档的初始版本。

注:

MCP39F511N

产品标识体系

欲订货或获取价格、交货等信息，请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

部件编号	[X] ⁽¹⁾	X	/XX	示例： a) MCP39F511N-E/MQ: 扩展级温度， 28引脚 5x5 QFN封装 b) MCP39F511NT-E/MQ: 卷带式， 扩展级温度， 28引脚 5x5 QFN封装 注 1: 卷带式标识符仅出现在产品目录的部件编号描述中。该标识符用于订货目的，不会印刷在器件封装上。关于提供卷带式包装的封装选项，请咨询Microchip销售办事处。
器件	卷带式	温度范围	封装	
器件: MCP39F511N: 带计算功能的双通道单相功率监视 IC 卷带式选项: 空白 = 标准包装（料管或托盘包装） T = 卷带式⁽¹⁾ 温度范围: E = -40°C至+125°C 封装: MQ = 28 引脚塑封正方扁平无引线封装 主体 5x5x0.9 mm（QFN）				

注:

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中更安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949 ==

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2018, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2843-5

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7289-7561

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenburg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820